

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

(повна назва інституту)

Кафедра електропостачання

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК 621:311

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ В.А. Попов

«   » \_\_\_\_\_ 20    р.

## Магістерська дисертація

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

спеціалізації Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології

на тему: «Підвищення ефективності функціонування лібералізованого ринку електричної енергії з прогнозуванням виробітку відновлювальних джерел енергії»

Виконав (-ла): студент (-ка) II курсу, групи ОН-з91мп

\_\_\_\_\_ Журавльова Дар'я Андріївна

( прізвище, ім'я по батькові)

(підпис)

Науковий керівник к.т.н., доц. Коцар О.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультант нормоконтроль ас. Прокопенко І.Д.

(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент директор ТОВ «ЛГ Смарт Енерджі» Слободенюк С.О.

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) \_\_\_\_\_

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут/факультет Інститут енергозбереження та енергоменеджменту  
(повна назва)

Кафедра електропостачання  
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
Спеціалізація «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ В.А. Попов  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_р.

**ЗАВДАННЯ  
на магістерську дисертацію студенту  
Журавльова Дар'я Андріївна**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Підвищення ефективності функціонування лібералізованого ринку електричної енергії з прогнозуванням виробітку відновлювальних джерел енергії»

науковий керівник дисертації к.т.н., доц. Коцар О.В. ,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «03» листопада 2020 р. № 3198-с

2. Строк подання студентом дисертації 14 грудня 2020 року

3. Об'єкт дослідження: є ринки електричної енергії, лібералізований ринок електричної енергії України, ринкові процеси, режими відпуску електричної енергії ФЕС в умовах функціонування лібералізованого ринку електричної енергії України, процеси і процедури взаємодії ФЕС з ДП «Гарантований покупець» та іншими суб'єктами ринку електричної енергії, автоматизовані системи контролю, обліку та управління енерговикористанням.

4. Предмет дослідження (Вихідні дані – для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою): методи прогнозування виробітку та відпуску електричної енергії ФЕС та процеси інформаційної взаємодії суб'єктів лібералізованого ринку електричної енергії України

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

- дослідити принципи функціонування лібералізованих ринків електричної енергії;
- дослідити діяльність виробників ВДЕ (ФЕС) на новому лібералізованому ринку електричної енергії України;
- дослідити результати прогнозування відпуску електричної енергії ВДЕ в лібералізованому ринку електричної енергії;
- провести аналіз результатів функціонування ринку «на добу наперед» (РДН) і внутрішньодобового ринку (ВДР) та визначено залежність ефективності функціонування РДН та ВДР від ступеня достовірності прогнозування відпуску електричної енергії ВДЕ;
- дослідити методи прогнозування виробітку та відпуску електричної енергії ФЕС та вибрати найбільш придатні методи короткострокового прогнозування для застосування в АСКОЕ;
- виконати розрахунок прогнозного відпуску для діючої ФЕС та виконати аналіз застосування різних моделей числового прогнозу погоди для врахування впливу хмарності;
- дослідити існуючу структуру АСКОЕ ФЕС та розробити модель АСКОЕ ФЕС з функцією прогнозування виробітку та відпуску електричної енергії в короткостроковій перспективі;
- розробити стартап-проект за результатами досліджень.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: презентація – наочні матеріали за результатами дослідження (алгоритми розрахунків та діаграми), графіки фактичного та прогнозованого відпуску ФЕС, структурна схема АСКОЕ, однолінійна схема електропостачання ФЕС

7. Орієнтовний перелік публікацій Журавльова Д.А. "Вдосконалення

прогнозування виробітку ФЕС на базі АСКОЕ" III Науково-технічна конференція магістрів ІЕЕ – 2020.

8. Консультанти розділів дисертації

Нормоконтроль

ас. Прокопенко І.Д.

9. Дата видачі завдання 29 травня 2020 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів МД	Примітка
1	Постановка мети, завдання, визначення об'єкту та предмету дослідження	05.06.2020	
2	Ознайомлення з науково-інформаційними джерелами за обраною темою	21.06.2020	
3	Теоретичні засади функціонування ВДЕ на лібералізованому ринку електричної енергії	20.07.2020	
4	Дослідження та вдосконалення методів прогнозування виробітку та відпуску електричної енергії ФЕС	31.08.2020	
5	Розроблення моделі АСКОЕ з функцією прогнозування виробітку та відпуску електроенергії ФЕС	20.09.2020	
6	Формулювання висновків	19.10.2020	
7	Розробка стартап проекту	15.11.2020	
9	Оформлення дисертації	30.11.2020	
10.	Оформлення реферату та презентації, проходження перевірки на плагіат та рецензування	30. 10.20-10.12.20	
11.	Передзахист МД	10.12.20-14.12.20	
12.	Захист дисертації	17.12.20-22.12.20	

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Журавльова Д.А.

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Коцар О.В.

(ініціали, прізвище)

## РЕФЕРАТ

**Структура і обсяг роботи.** Магістерська дисертація на тему: « Підвищення ефективності функціонування лібералізованого ринку електричної енергії з прогнозуванням виробітку відновлювальних джерел енергії » складається із вступу, 4 розділів, висновків та переліку використаних джерел. Загальний обсяг роботи складає 103 сторінки, в тому числі 22 рисунки, 14 таблиць та 18 бібліографічних найменувань за переліком посилань.

**Актуальність теми** обумовлено необхідністю підвищення точності прогнозування виробітку та відпуску ВДЕ та оперативного обміну даними прогнозування між суб'єктами ринку з метою зменшення небалансів електричної енергії та підвищення ефективності балансування ОЕС в умовах значної частки ВДЕ, більш точного визначення необхідних резервів, а також забезпечення достовірних розрахунків в лібералізованому ринку електричної енергії України.

**Метою магістерської дисертації** є підвищення ефективності функціонування лібералізованого ринку електричної енергії шляхом вдосконалення методів прогнозування виробітку та відпуску електроенергії на базі ВДЕ і застосування АСКОВЕ з функціями прогнозування та оперативного обміну інформацією між суб'єктами ринку.

Для досягнення зазначеної мети дослідження поставлено і розв'язано такі завдання:

- досліджено принципи функціонування лібералізованих ринків електричної енергії;
- досліджено діяльність виробників ВДЕ (ФЕС) на новому лібералізованому ринку електричної енергії України;
- досліджено результати прогнозування відпуску електричної енергії ВДЕ в лібералізованому ринку електричної енергії;

- проведено аналіз результатів функціонування ринку «на добу наперед» (РДН) і внутрішньодобового ринку (ВДР) та визначено залежність ефективності функціонування РДН та ВДР від ступеня достовірності прогнозування відпуску електричної енергії ВДЕ;
- досліджено методи прогнозування виробітку та відпуску електричної енергії ФЕС та вибрано найбільш придатні методи короткострокового прогнозування для застосування в АСКОЕ;
- виконано розрахунок прогнозного відпуску для діючої ФЕС та виконано аналіз застосування різних моделей числового прогнозу погоди для врахування впливу хмарності;
- досліджено існуючу структуру АСКОЕ ФЕС та розроблено модель АСКОЕ ФЕС з функцією прогнозування виробітку та відпуску електричної енергії в короткостроковій перспективі;
- розроблено стартап-проект за результатами досліджень.

**Об'єктом дослідження** є ринки електричної енергії, лібералізований ринок електричної енергії України, ринкові процеси, режими відпуску електричної енергії ФЕС в умовах функціонування лібералізованого ринку електричної енергії України, процеси і процедури взаємодії ФЕС з ДП «Гарантований покупець» та іншими суб'єктами ринку електричної енергії, автоматизовані системи контролю, обліку та управління енерговикористанням.

**Предметом дослідження** є методи прогнозування виробітку та відпуску електричної енергії ФЕС та процеси інформаційної взаємодії суб'єктів лібералізованого ринку електричної енергії України

**Методи дослідження.** Для розв'язання поставлених завдань у дисертаційній роботі використано фізичні методи прогнозування, статистичний метод оцінки похибки прогнозу за значенням середнього абсолютного відхилення, SWOT-аналіз.

**Наукова новизна** дисертації полягає у вдосконаленні методів прогнозування виробітку та відпуску електроенергії ФЕС, що відрізняються аналізом впливу рівня хмарності, визначеної за різними моделями численного прогнозу погоди.

**Практичне значення роботи:** Розроблений алгоритм та модель АСКОЕ з функціями прогнозування виробітку і відпуску електричної енергії ФЕС та інформаційної взаємодії із суб'єктами ринку в автоматичному режимі підвищить ефективність функціонування ФЕС в лібералізованому ринку електричної енергії України та сприятиме більш точному узгодженню попиту і пропозиції на ринку електричної енергії та скороченню резервних потужностей для потреб балансування.

**Апробація результатів роботи** відбулася на III Науково-технічній конференції магістрів ІЕЕ 26 листопада 2020 р.

**Публікації за тематикою досліджень:** Журавльова Д.А. "Вдосконалення прогнозування виробітку ФЕС на базі АСКОЕ" III Науково-технічна конференція магістрів ІЕЕ – 2020.

**Ключові слова:** ФОТОЕЛЕКТРИЧНА СТАНЦІЯ, ПРОГНОЗУВАННЯ, ВИРОБІТОК, ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГІЯ, АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОМЕРЦІЙНОГО ОБЛІКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ.

## ABSTRACT

**Structure and scope of work.** The master's dissertation on the topic: "Improving the effective functioning of the liberalized electricity market with forecasting the production of renewable energy sources" consists of an introduction, 4 sections, conclusions and a list of sources used. The total volume of the work is 103 pages, including 22 figures, 14 tables and 18 bibliographic titles according to the list of references.

**Actuality of theme** is due to the need to improve the accuracy of forecasting the production and supply of RES and rapid exchange of forecasting data between market participants for to reduce electricity imbalances and increase the efficiency of balancing UES in a significant share of RES, more accurate determination of required reserves and provide reliable calculations in liberalized electricity market of Ukraine.

**The aim of the master's thesis** is to increase the effective functioning of the liberalized electricity market by improving the methods of forecasting electricity generation and supply on the basis of RES and the use of ASCME with the functions of forecasting and operational exchange of information between market participants.

To achieve this goal, the following tasks were solved:

- To study the principles of functioning of liberalized electricity markets;
- To study the activity of RES (Photovoltaic power station) producers in the new liberalized electricity market of Ukraine;
- To study the results of forecasting the supply of electricity RES in the liberalized electricity market;
- To analyze the results of the functioning of the day-ahead market and the intraday market and to determine the dependence of the efficiency of the day-ahead market and the intraday market functioning on the degree of reliability of RES energy supply forecasting;



- To study the methods of forecasting the generation and supply of electricity of the photovoltaic power station and select the most suitable methods of short-term forecasting for use in ASCME;
- To undertake the calculation of the forecast holiday for the current photovoltaic power station and the analysis of the application of different models of the numerical weather forecast to take into account the influence of clouds;
- To study the existing structure of ASCME of the photovoltaic power station and to develop the model of ASCME of the photovoltaic power station with function of forecasting of generation and output of electric energy in the short term;
- To develop a startup project based on research results;
- The object of the study are electricity markets, liberalized electricity market of Ukraine, market processes, modes of electricity supply of the photovoltaic power station in the functioning of the liberalized electricity market of Ukraine, processes and procedures of interaction of the photovoltaic power station with SE "Guaranteed Buyer" and other actors in the electricity market energy, automated systems for control, accounting and management of energy use.

**The subject of the research** is the methods of forecasting the generation and output of electricity of the photovoltaic power station and the processes of information interaction of the liberalized electricity market of Ukraine.

**Research methods.** In order to solve the tasks, physical forecasting methods, statistical method for estimating the error of the forecast by the value of the absolute deviation, SWOT-analysis were used in the dissertation.

**The scientific novelty** is improving the methods of forecasting the production and output of the photovoltaic power station by analyzing the influence of the cloud level determined by different models of numerous weather forecasts.

**Practical value of the work:** The developed algorithm and model of ASCME with functions of forecasting electricity generation and output of the photovoltaic power station and information interaction with market participants in automatic mode will

increase the efficiency of the photovoltaic power station operation in the liberalized electricity market of Ukraine and promote more accurate coordination of supply and demand in the electricity market energy and reduction of reserve capacity for balancing needs.

Validation of the results of the work: was held at the III Scientific and Technical Conference of Masters of IEE, 2020.

Publications on research topics: Zhuravlova D.A. "Improvement of forecasting of the photovoltaic power station production on the basis of ASCME " III Scientific and Technical Conference of Masters of IEE, 2020.

Key words: PHOTOVOLTAIC POWER STATION, FORECASTING, GENERATION, ELECTRIC ENERGY, AUTOMATED SYSTEM OF COMMERCIAL ACCOUNTING OF ELECTRIC ENERGY, RENEWABLE ENERGY SOURCES.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	14
1 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВДЕ НА ЛІБЕРАЛІЗОВАНОМУ РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ .....	17
1.1 Принципи функціонування лібералізованих ринків електричної енергії .....	17
1.2 Діяльність виробників ВДЕ (ФЕС) на новому лібералізованому ринку електричної енергії України .....	36
1.2.1 Взаємодія ВДЕ з оператором системи передачі(ОСП) .....	37
1.2.2 Взаємодія ВДЕ з Оператором системи розподілу (ОСР) .....	38
1.2.3 Взаємодія ВДЕ з Адміністратором комерційного обліку (ПрАТ «НЕК «Укренерго»)) .....	39
1.2.4 Взаємодія ВДЕ з Гарантованим покупцем (ДП «Гарантований покупець»))	40
1.3 Прогнозування відпуску електричної енергії ВДЕ на лібералізованому ринку електричної енергії.....	41
1.4 Аналіз результатів функціонування РДН та ВДР.....	44
1.5 Постановка завдань досліджень .....	54
Висновки до розділу 1 .....	55
2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ВИРОБІТКУ ТА ВІДПУСКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ФЕС.....	57
2.1 Дослідження та вдосконалення методів прогнозування виробітку та відпуску електричної енергії ФЕС .....	57
2.1.1 Розрахунок сонячної радіації, що потрапляє на поверхню сонячного модуля у певну годину доби.....	58
2.1.2 Розрахунок прогнозованого виробітку ФЕС за умов ясного неба у певну годину доби. ....	60
2.1.3 Розрахунок прогнозованого виробітку ФЕС з врахуванням впливу хмарності неба у певну годину доби. ....	61
2.1.4 Розрахунок прогнозованого відпуску ФЕС з врахуванням втрат в трансформаторі та лініях електропередачі .....	63

2.2 Розрахунок прогнозного виробітку та відпуску для діючої ФЕС та аналіз використання різних моделей числового прогнозу погоди для врахування впливу хмарності.....	65
Висновки до розділу 2 .....	72
3 РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ АСКОЕ З ФУНКЦІЄЮ ПРОГНОЗУВАННЯ ВИРОБІТКУ ТА ВІДПУСКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ФЕС .....	74
3.1 Дослідження існуючої моделі АСКОЕ ФЕС .....	74
3.1.1 Інформаційна взаємодія з АСКОЕ ПрАТ «Кіровоградобленерго» .....	75
3.1.2 Інформаційна взаємодія з АСКОЕ Дніпровської ЕС НЕК «Укренерго» .....	75
3.1.3 Інформаційна взаємодія з ІОК АКО.....	76
3.2 Розроблення функціональної моделі АСКОЕ з функцією прогнозування виробітку та відпуску електричної енергії ФЕС .....	77
Висновки до розділу 3 .....	79
4 СТАРТАП-ПРОЕКТ.....	80
Висновки до розділу 4 .....	87
ВИСНОВКИ .....	88
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	90
Додаток А .....	92
Додаток Б.....	93

**ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ**

АКО – адміністратор комерційного обліку

АСКОЕ - автоматизована система комерційного обліку електричної енергії

ВДЕ – відновлювальні джерела енергії

ОЕС України – об'єднана енергосистема України

ОСП – оператор системи передачі

ОСР – оператор системи розподілу

ФЕС – фотоелектрична сонячна електрична станція

в.о. – відносні одиниці

## ВСТУП

В Україні відбувається стрімке зростання генерувальних потужностей на базі альтернативних та відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), найбільшу частку яких складають фотоелектричні (ФЕС) та вітрові електричні станції (ВЕС). Головними позитивними наслідками активного впровадження генерувальних потужностей на базі ВДЕ в електроенергетичному секторі України, очевидно, є зменшення потреби у використанні викопного палива під час виробництва електроенергії, що сприяє покращанню екології і в свою чергу призводить до зменшення викидів CO<sub>2</sub>. Однак є й негативні наслідки. Це нерегульовані, різко змінні слабопрогнозовані графіки відпуску електростанцій ВДЕ. Як наслідок – зростання потреб в балансувальних потужностях, погіршення ефективності режимів Об'єднаної електроенергетичної системи (ОЕС) України та перекладання витрат на врегулювання небалансів на споживачів. Питання точності прогнозування актуалізується і для самих виробників за «зеленим» тарифом, оскільки плату за небаланси (різницю між прогнозованим і фактичним погодинним генеруванням) з 2021 року буде покладено саме на них. У зв'язку з цим розробка нових та вдосконалення існуючих методів та засобів для поліпшення якості прогнозування обсягів виробітку та відпуску електроенергії станціями на базі ВДЕ відноситься до найбільш актуальних науково-практичних задач сучасної енергетики і набуває надважливого значення для розвитку електроенергетичних систем в рамках концепції Smart Grid.

**Актуальність теми** обумовлено необхідністю підвищення точності прогнозування виробітку та відпуску ВДЕ та оперативного обміну даними прогнозування між суб'єктами ринку з метою зменшення небалансів електричної енергії та підвищення ефективності балансування ОЕС в умовах значної частки ВДЕ, більшого точного визначення необхідних резервів, а також забезпечення достовірних розрахунків в лібералізованому ринку електричної енергії України.

**Метою магістерської дисертації** є підвищення ефективності функціонування лібералізованого ринку електричної енергії шляхом вдосконалення методів прогнозування виробітку та відпуску електроенергії на

базі ВДЕ і застосування АСКОЕ з функціями прогнозування та оперативного обміну інформацією між суб'єктами ринку.

Для досягнення зазначеної мети дослідження поставлено і розв'язано такі завдання:

- досліджено принципи функціонування лібералізованих ринків електричної енергії;
- досліджено діяльність виробників ВДЕ (ФЕС) на новому лібералізованому ринку електричної енергії України;
- досліджено результати прогнозування відпуску електричної енергії ВДЕ в лібералізованому ринку електричної енергії;
- проведено аналіз результатів функціонування ринку «на добу наперед» (РДН) і внутрішньодобового ринку (ВДР) та визначено залежність ефективності функціонування РДН та ВДР від ступеня достовірності прогнозування відпуску електричної енергії ВДЕ;
- досліджено методи прогнозування виробітку та відпуску електричної енергії ФЕС та вибрано найбільш придатні методи короткострокового прогнозування для застосування в АСКОЕ;
- виконано розрахунок прогнозного відпуску для діючої ФЕС та виконано аналіз застосування різних моделей числового прогнозу погоди для врахування впливу хмарності;
- досліджено існуючу структуру АСКОЕ ФЕС та розроблено модель АСКОЕ ФЕС з функцією прогнозування виробітку та відпуску електричної енергії в короткостроковій перспективі;
- розроблено стартап-проект за результатами досліджень.

**Об'єктом дослідження** є ринки електричної енергії, лібералізований ринок електричної енергії України, ринкові процеси, режими відпуску електричної енергії ФЕС в умовах функціонування лібералізованого ринку електричної енергії України, процеси і процедури взаємодії ФЕС з ДП «Гарантований покупець» та іншими суб'єктами ринку електричної енергії, автоматизовані системи контролю, обліку та управління енерговикористанням.

**Предметом дослідження** є методи прогнозування виробітку та відпуску електричної енергії ФЕС та процеси інформаційної взаємодії суб'єктів лібералізованого ринку електричної енергії України

**Методи дослідження.** Для розв'язання поставлених завдань у дисертаційній роботі використано фізичні методи прогнозування, статистичний метод оцінки похибки прогнозу за значенням середнього абсолютного відхилення, SWOT-аналіз.

**Наукова новизна** дисертації полягає у вдосконаленні методів прогнозування виробітку та відпуску електроенергії ФЕС, що відрізняються аналізом впливу рівня хмарності, визначеної за різними моделями численного прогнозу погоди.

**Практичне значення роботи:** Розроблений алгоритм та модель АСКОЕ з функціями прогнозування виробітку і відпуску електричної енергії ФЕС та інформаційної взаємодії із суб'єктами ринку в автоматичному режимі підвищить ефективність функціонування ФЕС в лібералізованому ринку електричної енергії України та сприятиме більш точному узгодженню попиту і пропозиції на ринку електричної енергії та скороченню резервних потужностей для потреб балансування.

**Апробація результатів роботи:** відбулася на III Науково-технічній конференції магістрів ІЕЕ 26 листопада 2020 р.

**Публікації за тематикою досліджень:** Журавльова Д.А. "Вдосконалення прогнозування виробітку ФЕС на базі АСКОЕ" III Науково-технічна конференція магістрів ІЕЕ – 2020.



# **1 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВДЕ НА ЛІБЕРАЛІЗОВАНОМУ РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ**

## **1.1 Принципи функціонування лібералізованих ринків електричної енергії**

За оцінкою міжнародних енергетичних організацій, лібералізація ринків електричної енергії – один з головних етапів розвитку, реалізований у різних формах та обсягах більшістю країн-членів ЄС та іншими розвиненими країнами.

Лібералізація (від лат. *liberalis* — вільний) – це форма економічної політики, що є комплексом заходів, спрямованих на сприяння економічній діяльності, поступове скасування наявних обмежень у зовнішній торгівлі, зниження ставок ввізного та вивізного мита, надання тарифних пільг під час здійснення зовнішньоекономічних операцій. Це процес розширення волі економічних дій суб'єктів підприємницької діяльності, зняття обмежень на фінансово-економічну діяльність, розкріпачення підприємництва [1].

За визначенням *Financial Times*, «лібералізація енергетичної сфери – це політичний і регуляторний процес, який приносить конкуренцію в колишні електроенергетичні і газові монополії» [2]. Конкуренція відбувається переважно у сферах виробництва електроенергії і збутової діяльності. Діяльність в рамках мережі транспортування і розподілу традиційно підтримується регламентованою.

Відмінність монополістичного ринку від лібералізованого характеризується тим, що на монополістичному ринку відсутня конкуренція, бар'єри для входу на ринок, непрозоре ціноутворення і регулювання, необхідне для того, щоб уникнути будь-яких зловживань домінуючою на ринку позицією. Роль уряду полягає в тому, щоб захистити споживачів, утримуючи ціни на низькому рівні і обмеження можливих негативних ефектів, таких як обмеження виробленого кількості. З іншого боку, лібералізований ринок енергії передбачає більш високу конкуренцію, право споживачів вільно вибирати постачальника, прозоре ціноутворення і заохочення інвестицій в енергетичний сектор.

Подальше поглиблення конкуренції на лібералізованих ринках створює стимули для підвищення ефективності роботи електроенергетичних систем і прийнятних інвестиційних рішень у розрізі часу, розміру, місця й вибору технології. Головними причинами прийняття більшістю країн на державному рівні рішення про проведення серйозних реформ в електроенергетиці були низька ефективність і слабка конкурентоспроможність національної продукції на регіональних і світових ринках, а також відсутність інвестицій для розвитку енергетичного сектора.

Розглянемо основні характеристики лібералізованого ринку [3]:

### 1. Вибір споживачів

Найбільш глибокою зміною і найбільш істотним рушійним механізмом лібералізації енергетичних ринків є введення вибору для споживачів з одночасною відмовою від наділених законним статусом монополій. Під вибором для споживачів мається на увазі, що споживач електроенергії буде мати право вибору постачальника електроенергії. В принципі, це право повинен мати кожен споживач - окреме домашнє господарство або великий промисловий завод. Багато країн віддали перевагу політичному компромісу, коли ринок спочатку відкривається для великих споживачів (відповідних споживачів), а потім, поступово, на ринок допускаються все більш дрібні споживачі. Надання вибору споживачам вимагає впровадження ринкової структури, яка, щоб бути успішною і повинна передбачати низку заходів і реформ.

### 2. Доступ до третіх сторін

Електрика відрізняється від багатьох інших товарів тим, що її постачання споживачеві здійснюється за допомогою спеціалізованої системи транспортування. У дорожній системі, де дороги переважно є державною власністю, конкурентні постачальники можуть вільно відправляти вантажівки для доставки товарів будь-якому споживачеві. В електроенергетичній системі, "дороги" зазвичай належали постачальнику електроенергії – тобто місцевій розподільчій енергокомпанії. Вибір іншого постачальника вимагає, щоб цей

постачальник – третя сторона – мала можливість постачати електричну енергію лініями електропередачі (ЛЕП) конкуруючого постачальника, оскільки будівництво паралельних ЛЕП у більшості випадках буде економічно недоцільним. Доступ Третіх Сторін – це право постачальників на недискримінаційне використання ЛЕП будь то в центральній, регіональній або місцевій енергосистемах.

Внаслідок характеру розподілу електроенергії, необхідна наявність координованого потоку електроенергії по всій системі і одній-єдиній компанії, що контролює потоки в області однієї енергосистеми. За аналогією з дорогами це означає, що існує лише одна компанія вантажних перевезень, що транспортує товари в кожному регіоні, і кожен постачальник/споживач повинен мати рівне право на користування послугами цієї компанії вантажних перевезень (загальний перевізник).

### 3. Тарифи на передачу електроенергії

Рівноправний доступ до послуг "компанії з перевезення вантажів" є необхідним вимогою, але недостатньою умовою для досягнення чесної конкуренції. Обслуговування компанією кожного з клієнтів має здійснюватися недискримінаційним і відкритим шляхом з пропозицією всім клієнтам рівних і справедливих умов обслуговування.

### 4. Регулювання та природні монополії.

У ринковій економіці регулювання ринку електроенергії обмежується контролем за владою монополій, тобто діяльністю "природних монополій" і концентрацією ринку. Регулятор також займається сприянням стимулювання ефективного функціонування ринку.

Метою регулювання природних монополій є обмеження прибутків їх власників до "розумного" доходу на вкладений капітал. Регулятор також забезпечує прозорість тарифів та їх недискримінаційне застосування.

Прозорість означає, що тарифи є передбачуваними, доступними, публікуються і рахунки за ними виставляються роздільно. У більшості випадків

тарифи на передачу електроенергії будуть являти собою окрему позицію в рахунку за електроенергію. Відділення вартості передачі також зробить прозорою вартість електроенергії, і буде легше порівнювати ціни на електроенергію конкуруючих постачальників.

## 5. Розподіл

Розподіл є проблемою регулювання і управління активами, тісно взаємодіючою з енергетичною політикою і політикою в області державної власності.

Розподіл вважається важливим внеском у регулювання природних монополій, що забезпечує таким чином справедливий і недискримінаційний доступ до системи передачі електроенергії для всіх користувачів.

Регулювання природних монополій в рамках великих об'єднаних корпорацій виявилось складним через безліч можливостей перехресного субсидіювання, існуючих в межах однієї компанії. Рівень вартості передачі може зрости в результаті пропозиції регульованої галузі надмірної частки в колективному обслуговуванні, результатом чого є нижча вартість і конкурентні переваги для галузі електропостачання. Повний розподіл рахунків та виділення окремих областей діяльності розглядаються як мінімальна міра, в той час як краще було б вибрати поділ на різні корпоративні одиниці і структури власності.

Наслідком такого регулятивного підходу є поява професійних компаній енергосистем, що концентруються на різних рівнях енергосистеми, окремі з яких виникають в результаті концентрації численних компаній систем розподілу, що раніше були власністю розподільних комунальних підприємств.

## 6. Регулювання і влада на ринку

Для того, щоб будь-який ринок функціонував ефективно, необхідно велика кількість продавців і покупців. Для розвитку конкуренції жоден з учасників ринку не повинен мати можливість маніпулювати ринком.

Електроенергетична галузь у багатьох країнах характеризується високим рівнем концентрації, і досить часто централізовано керовані виробники

електроенергії володіють домінуючою часткою ринку. Зусилля щодо введення конкуренції в таких умовах не завжди призводили до бажаного результату. Перспективи високих розцінок вводять політиків у спокусу приватизувати компанії з домінуючими частками ринку, після чого регулюючі органи багато років працюють над владою на ринку.

Вирішувати проблему влади на ринку можна за допомогою прийняття політики позбавлення прав, на підставі чого домінуючим виробникам електроенергії пропонується розпродати потужності новим учасникам або конкурентам, створюючи таким чином більш конкурентне середовище.

Влада на ринку може також стати наслідком злиття і придбань компаній в рамках галузі. Органи з конкуренції та регулюючий орган в енергетиці зазвичай стежать за такими угодами і, якщо вони прийнятні, затверджують їх до їх здійснення.

#### 7. Незалежний оператор систем

Властивості електроенергії та електропостачання під час лібералізації не змінюються, і те, що стає ринком, залишається також об'єднаною фізичною системою, потребує системного обслуговування та механізмів балансування.

Необхідно, щоб безпека системи, надійність і якість постачання підтримувалися незалежним "центром управління робочим навантаженням". В принципі, оператор системи не повинен мати жодних стимулів для сприяння будь-якому окремому користувачеві, будь то виробники, споживачі або власники енергосистеми. Для того, щоб займатися перевантаженнями, балансуванням системи і придбанням системних послуг, слід вибирати ефективні та засновані на ринкових принципах варіанти.

#### 8. Організація ринків

Вибір споживачів стимулює розвиток численних варіантів постачання. На ринку з'являються численні учасники, і споживачі можуть вибирати, чи купувати у традиційних розподільних компаній (комунальних підприємств), безпосередньо у виробників, через нових учасників, таких як роздрібні торговці, ринкові

виробники, за сукупними пропозиціями, у посередників і т. д., або безпосередньо через оптовий ринок/енергетичний пул.

Оптовий ринок, заснований на оптових угодах виробників, постачальників і великих споживачів, є ключовим елементом кожного електроенергетичного ринку. Контракти варіюються від двосторонніх контрактів до аукціонів, тобто енергетичні біржі/пули/фондові біржі/ринки готівкового товару, які торгують контрактами на електроенергію напередодні або на основі короткострокової регулюючої торгівлі до часу виконання. Системний оператор є учасником спеціалізованих ринків, щоб купувати найменш дорогі варіанти послуг з балансування систем.

Торгова ліквідність (обсяг угод) і прозорість цін полегшують введення похідних електроенергії. Похідні електроенергії, такі, як форвардні контракти, ф'ючерси та опціони в основному використовуються для цілей управління ризиком у спробі контролю за основним ціновим ризиком, поширеним на ринках електроенергії.

Окремі лібералізовані ринки електроенергії існують уже понад десятки років і їхня діяльність може дати низку важливих уроків на прикладі реформування ринків електроенергії ряду країн і «регіонів-першопроходців».

### **Австралія**

Лібералізація ринку електричної енергії Австралії розпочалася у 1991 році. Було сформовано Раду з управління національної енергосистемою (National Grid Management Council) для формування єдиного національного ринку електроенергії.

У 1992-1993 роках паралельно з обговоренням законодавчих заходів з розвитку конкуренції в різних галузях економіки, уряди штатів і територій Австралії приступили до реформування електроенергетичної галузі та поділу державних вертикально-інтегрованих компаній за видами діяльності (виробництво, передача, розподіл і збут).

У 1996 році уряди штатів підписали угоду (National Electricity Market Legislation Agreement) для запуску єдиного національного конкурентного ринку

електроенергії. За підсумками угоди були прийняті і відповідні нормативні документи, в т.ч. Національний Акт про електроенергетику.

Електроенергетична система Австралії розділена в силу географічних умов на два регіони: на південному заході материка діє Оптовий ринок (оптовий ринок електроенергії, WEM), на сході та південному сході - Національний ринок електроенергії Австралії (National Electricity, NEM).

Структуру лібералізованого ринку Австралії наведено на рисунку 1.1.

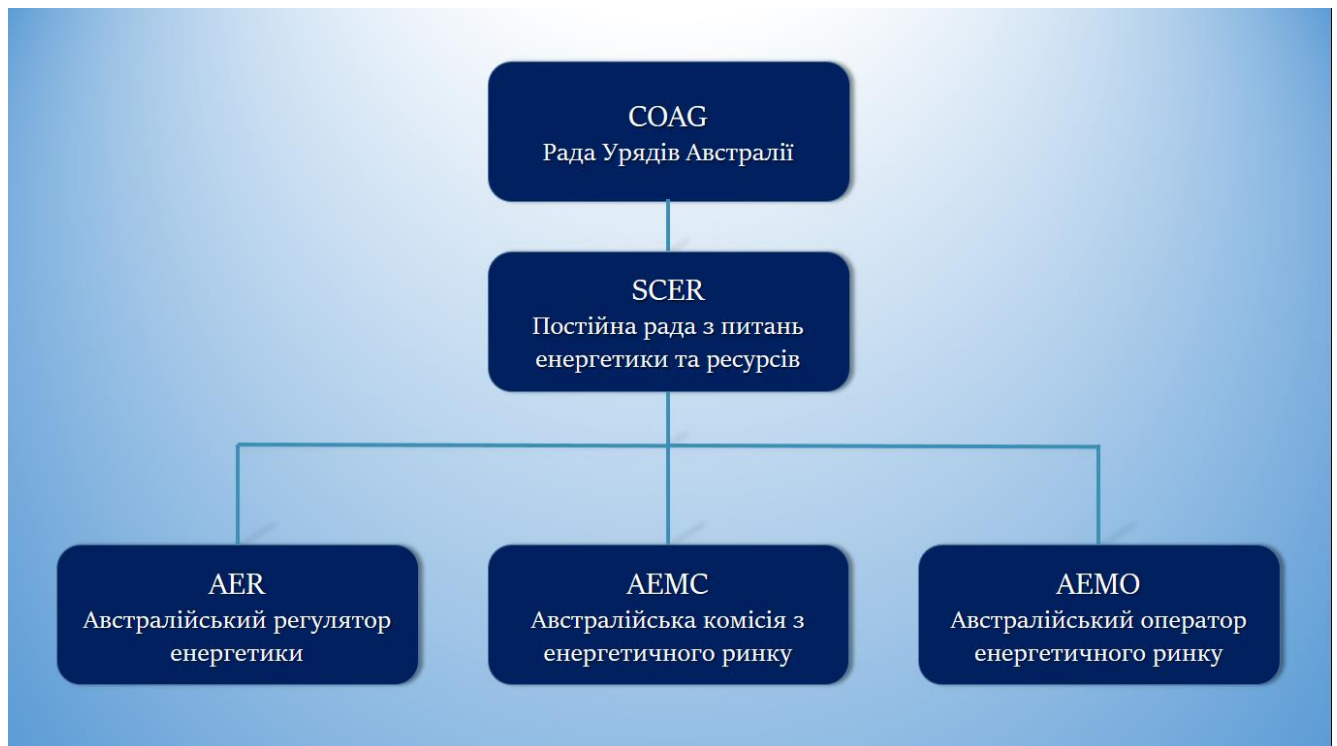


Рисунок 1.1 - Структура лібералізованого ринку Австралії

Рада австралійських урядів (COAG) – найвищий міждержавний форум в Австралії.

Постійна рада з питань енергетики та ресурсів (SCER) є національним органом енергетичної політики та управління енергетичними ринками Австралії. До складу SCER входять федеральний, штат і територіальні міністри та міністри енергетики та ресурсів Нової Зеландії під керуванням Міністра ресурсів та енергетики Співдружності.

Австралійська комісія з енергетичного ринку (АЕМС), австралійський оператор енергетичного ринку (АЕМО) та австралійський регулятор енергетики (АЕР) несуть відповідальність за управління, експлуатацію та регулювання NEM перед COAG та SCER .

Незалежний регулятор: Австралійський регулятор енергетики (Australian Energy Regulator, AER) створений відповідно до положень закону про конкуренцію і споживачі 2010 року для контролю за дотриманням учасниками ринку нормативно встановлених правил і процедур оптового і роздрібного ринків.

Австралійська комісія з енергетичного ринку (Australian Energy Market Commission, АЕМС) веде розробку і розглядає пропозиції щодо зміни Національних правил електроенергетики, відповідає за розвиток ринку і надання методичних рекомендацій до Ради Урядів Австралії.

Австралійський оператор енергетичного ринку (АЕМО) відповідає за експлуатацію систем, які дозволяють генерувати, передавати та розподіляти енергію, а також фінансових ринків, що дозволяють продавати та купувати енергію.

Структура генерації електроенергії Австралії за 2019 рік представлена на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 - Структура генерації електроенергії Австралії



Як видно з діаграми найбільша частка виробленої енергії приходить на вугілля. Проте частка відновлювальних джерел енергії доволі велика і складає 20,7%.

Австралія – світовий лідер за часткою розосередженої генерації в енергосистемі. АЕМО розробляє технічні стандарти для інтеграції, управління об'єктами розподіленої генерації, пілотні проекти віртуальних електростанцій. У 2019 році Австралія виповнила свій план на відновлювану енергію до 2020 року – 23,5%.

Також у Австралії в 2012 році було створено Австралійське Агентство з відновлюваної енергетики (ARENA). Воно є незалежним агентством Австралійського федерального уряду, створене для управління Австралією поновлюваних джерел енергії програм, з метою збільшення попиту і конкурентоспроможності австралійських поновлюваних джерел енергії. Ключовою частиною роботи ARENA є накопичення знань, якими можна ділитися відкрито, щоб допомогти промисловості та уряду краще орієнтуватися в переході на енергоносії. Інформація з минулих проектів та досліджень також допомагає знизити ризик подальших проектів, прискорити впровадження безпечних і комерційно життєздатних технологій, підвищити розуміння громадськістю та довіру до нових технологій, а також підтримати розвиток потенціалу.

У 2013 році Австралійське Агентство з відновлюваної енергетики представило проект «Австралійські системи прогнозування сонячної енергії». Необхідністю розроблення даного проекту слугувало те, що потужність сонячної енергетики на Національному ринку електроенергетики (NEM) швидко зростала і досягла стадії, коли потрібно було належне прогнозування для продовження розширення. Точні моделі прогнозування попиту та пропозиції загалом необхідні для підвищення комерційної життєздатності та забезпечення стабільності електромережі. В 2014 році АЕМО впровадив австралійську систему прогнозування сонячної енергії (ASEFS) для надання прогнозів виробництва

сонячної енергії, підвищення точності процесів прогнозування національного ринку електроенергетики (NEM).

ASEFS розроблена для складання прогнозів сонячної генерації для найбільших сонячних електростанцій та малих розподілених фотоелектричних (PV) систем, охоплюючи періоди прогнозування від 5 хвилин до 7 днів. Система була поділена на два етапи:

1. 1 етап ASEFS включав в себе підготовку прогнозування сонячної генерації для великих сонячних електростанцій. Сучасні сонячні електростанції включають будь-які сонячні електростанції з зареєстрованою потужністю більш ніж 30 МВт, а також будь-які сонячні електростанції, які АЕМО повинні моделювати в обмеженнях мережі по системі безпеки енергосистеми. Цей етап був введений в експлуатацію 30 травня 2014 року.
2. 2 етап ASEFS включав в себе підготовку прогнозування сонячної генерації для малих розподілених фотоелектричних систем, що визначаються, як фотоелектричні системи з потужністю системи менше 100 кіловат (кВт). Етап 2 був введений 30 березня 2016 року.

Та вже у 2018 році АЕМО розпочало реалізацію програми самопрогнозування вітряними та сонячними електростанціями, щоб продемонструвати потенційні переваги самопрогнозування вітряних і сонячних електростанцій для ринку і роботи енергосистеми в цілому. Очікується, що використання диспетчерських власних прогнозів замість прогнозів з ASEFS принесе користь в масштабах всієї системи за рахунок зменшення помилок прогнозу генерації і надання більшої автономії непостійним генераторам.

### **Німеччина**

До 1998 року в Німеччині в сфері електроенергетики існували вертикально інтегровані енергокомпанії, за якими визнавався статус монополії при енергозабезпеченні певного регіону.

У 1998 році була прийнята нова редакція Закону про енергетику, яка імплементувала норми першої європейської директиви 1996 року про загальні

правила внутрішнього ринку електроенергії з вимогою забезпечення незалежності діяльності мережевих операторів. Почався процес виділення чотирьох мережевих операторів системи в країні енергокомпаній - RWE, E.ON, EnBW, Vattenfall. В результаті, були створені Ampiron, TransnetBW, 50Hertz, TenneT, які в 2009 році були сертифіковані в якості незалежних мережевих операторів (independent transmission operators).

У липні 2016 року було запущено реформу по переходу Німеччини до «нової» енергетики (Energiewende). Прийнято закон про ринок електроенергії (StrommarktG) (визначення вільного ціноутворення, введення резерву потужностей на базі вугільних ТЕС), закон про цифровізації переходу до «нової» енергетики (Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende) (обов'язок великих і середніх споживачами електроенергії по установці «розумних» приладів обліку), а також прийняті зміни в закон про ВДЕ (введення аукціонів на будівництво великих і середніх станцій на ВДЕ).

Структуру лібералізованого ринку Німеччини наведено на рисунку 1.3.

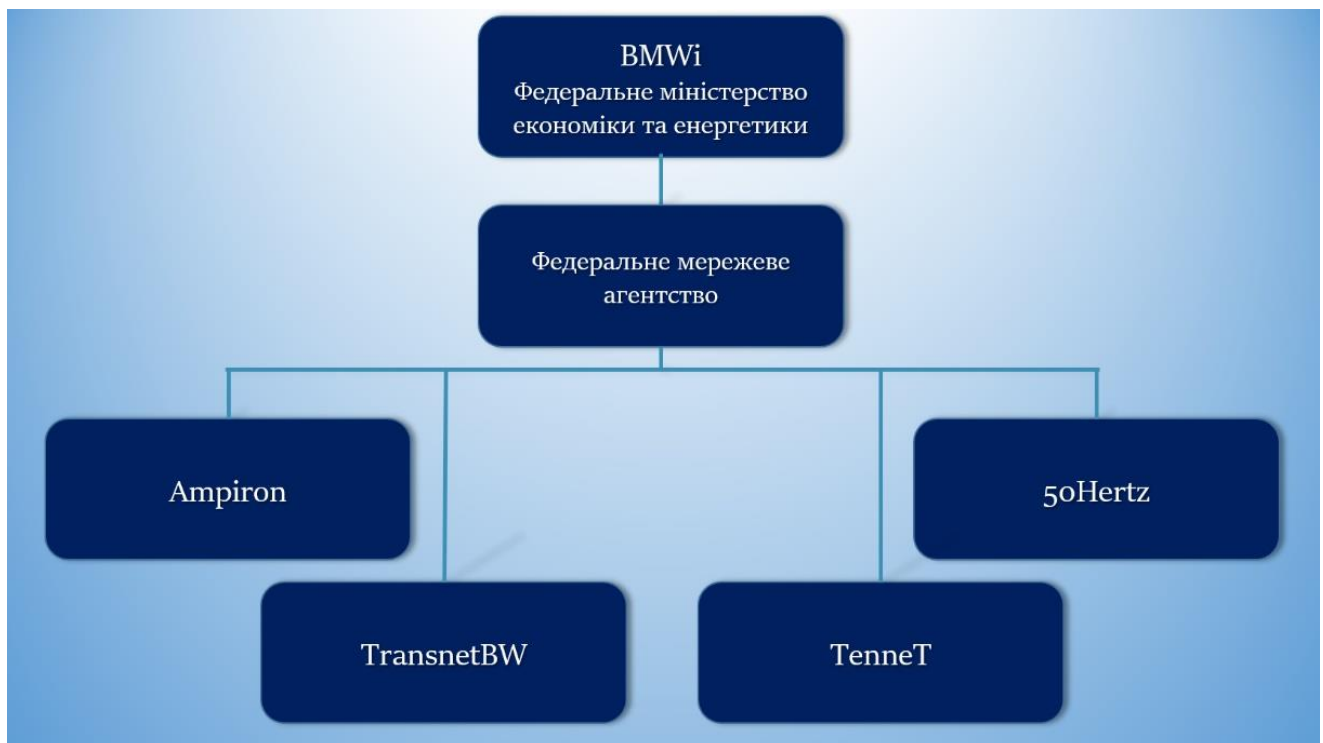


Рисунок 1.3 - Структура лібералізованого ринку Німеччини

Федеральне міністерство економіки і енергетики (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, BMWi) визначає загальну політику з області енергетики.

Федеральне мережеве агентство (Bundesnetzagentur) здійснює контроль, в тому числі, за функціонуванням ринків електроенергії. Агентство визначає тариф на передачу і розподіл електроенергії та газу, здійснює контроль за забезпеченням недискримінаційного доступу до мереж, спрощення процесу зміни збутових компаній.

Ampiron, TransnetBW, 50Hertz, TenneT - системні оператори. Вони здійснюють передачу електроенергії магістральними ЛЕП і оперативно-диспетчерське управління в чотирьох зонах диспетчерського управління.

Розподіл електроенергії здійснюється понад 880 місцевими операторами розподільних мереж. Їх діяльність відповідно до норм європейського законодавства сумісна з виробництвом і збутом.

На кожну зону диспетчерського управління доводиться в середньому по 115 збутових компаній, що працюють на роздрібному ринку електроенергії. Збутові компанії, що поставляють електроенергію населенню, зобов'язані публікувати ціни в відкритих джерелах.

Структура генерації електроенергії Німеччини за 2019 рік представлена на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 - Структура генерації електроенергії Німеччини

Як видно з діаграми найбільша частка виробленої енергії приходить на вугілля. Проте наразі в Німеччині здійснюється поступове виведення з експлуатації АЕС (до 2022 року) і вугільних ТЕС (до 2035 року). У 2010 році в країні діяло 17 ядерних реакторів, які виробляли  $\frac{1}{4}$  електроенергії країни. На початок 2019 року залишилося 7 реакторів загальною потужністю 9 486 МВт. З 2016 - 2019 роки частина вугільних ТЕС переведена в резерв. Для подальшого поетапного виведення з експлуатації вугільних ТЕС створено спеціальну комісію, яка в лютому 2019 року оприлюднила попередні терміни: до 2022 року - будуть закриті вугільні станції потужністю 12,7 ГВт з виплатою компенсацій, до 2030 року потужність вугільної генерації повинна скоротитися до 17 ГВт.

Частка відновлювальних джерел енергії у загальній структурі генерації електроенергії Німеччини доволі велика і складає 46%. Така велика частка стала можливою після прийняття та введення у дію у 2000 році Закону про відновлювальні джерела енергії. Завдяки цьому закону були введені гарантовані тарифи для різних видів відновлювальних джерел енергії. Це виявилось надійною та передбачуваною оплатою операторам електростанцій, що призвело до великих інвестицій у відновлювальну енергетику. Крім того електроенергія, що постачається у мережу відновлювальними джерелами енергії оплачується Оператором системи розподілу (ОСР) пільговим тарифом. Оператор системи розподілу передає електроенергію балансуючим групам Операторів системи передачі (ОСП), які потім повинні продати її на енергетичній біржі EPEX Spot. У 2012 році у операторів електростанцій з'явилась можливість продавати свою електроенергію за допомогою трейдерів, з цією метою було створено більш збалансовані балансуючі групи. Після цього ОСП та трейдери продають електроенергію на ринках внутрішньодобовому та "на добу наперед". Різниця між ринковою ціною та пільговим тарифом відшкодовується надбавкою, яку платять споживачі електроенергії. Через те, що ОСП та трейдери продають електроенергію на ринках внутрішньодобовому та "на добу наперед", для подачі торгових графіків їм необхідно мати точні прогнози генерації електроенергії

відновлювальними джерелами енергії на наступну добу для ринку "на добу наперед" та короткострокові прогнози для внутрішньодобового ринку. Проте ОСП не мають великого інтересу в точних прогнозах через те, що затрати на балансування електроенергії компенсуються надбавкою, що сплачують споживачі. Саме тому Урядом Германії було введено бонусну систему заохочення ОСП за точні прогнози. Для трейдерів стимулом для точних прогнозів є те, що затрати на балансування їм не відшкодовуються. [4]

### Україна

З 1 січня 2019 року в Україні стартував перший етап державної реформи ринку електричної енергії. Зміни відбулися на підставі Закону України «Про ринок електричної енергії», згідно з яким функції з розподілу електричної енергії відокремили від функцій з виробництва, передачі та постачання електроенергії.

З 1 липня 2019 року. почали діяти балансуючий ринок та ринок допоміжних послуг, ринок «на добу наперед» та внутрішньодобовий ринок, двосторонні договори.

Структуру лібералізованого ринку електричної енергії України представлено на рисунку 1.5.

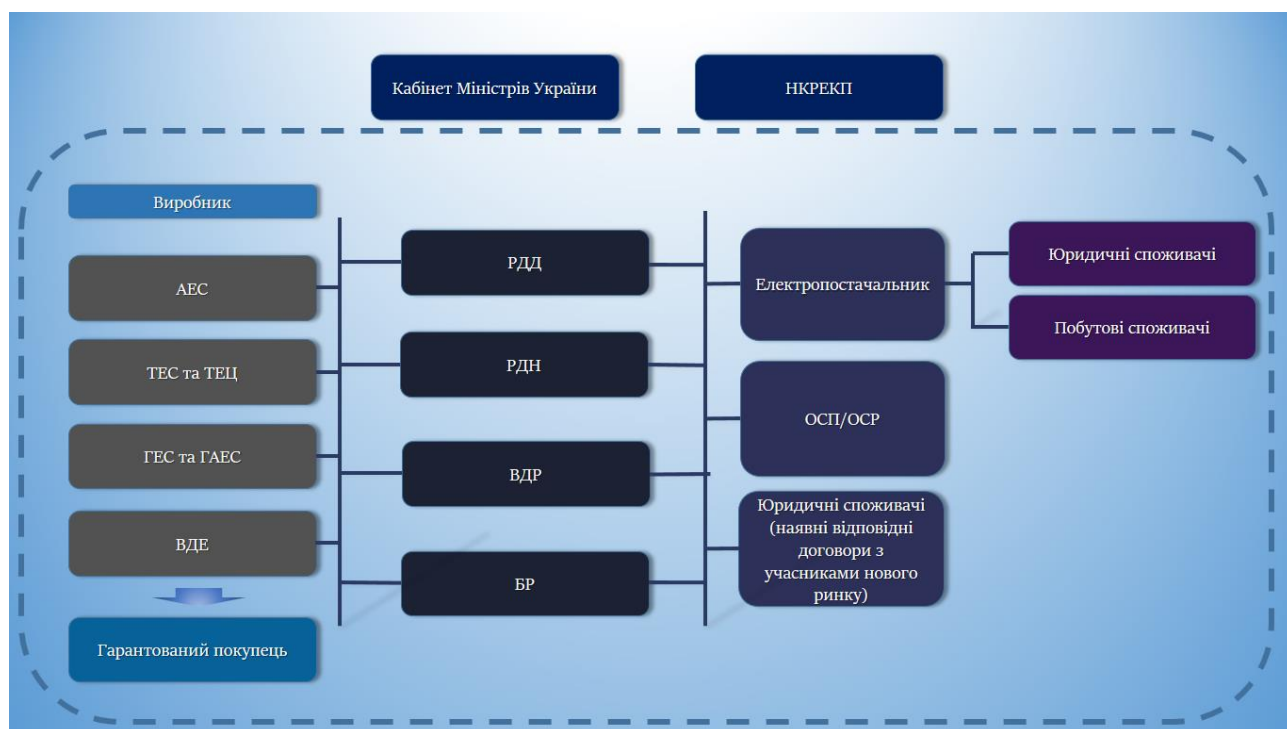


Рисунок 1.5 - Структура лібералізованого ринку України

Кабінет Міністрів України забезпечує формування та реалізацію державної політики в електроенергетичному комплексі, центральний орган виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері нагляду (контролю) в галузі електроенергетики.

Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП) здійснює державне регулювання з метою досягнення балансу інтересів споживачів, суб'єктів господарювання, що провадять діяльність у сферах енергетики та комунальних послуг, і держави, забезпечення енергетичної безпеки, європейської інтеграції ринків електричної енергії та природного газу України.

Виробник електричної енергії - суб'єкт господарювання, який здійснює виробництво електричної енергії;

Електропостачальник – суб'єкт господарювання, який здійснює продаж електричної енергії за договором постачання електричної енергії споживачу;

Оператор системи передачі – юридична особа, відповідальна за експлуатацію, диспетчеризацію, забезпечення технічного обслуговування, розвиток системи передачі та міждержавних ліній електропередачі, а також за забезпечення довгострокової спроможності системи передачі щодо задоволення обґрунтованого попиту на передачу електричної енергії;

Оператор системи розподілу – юридична особа, відповідальна за безпечну, надійну та ефективну експлуатацію, технічне обслуговування та розвиток системи розподілу і забезпечення довгострокової спроможності системи розподілу щодо задоволення обґрунтованого попиту на розподіл електричної енергії з урахуванням вимог щодо охорони навколишнього природного середовища та забезпечення енергоефективності;

Оператор ринку – юридична особа, яка забезпечує функціонування ринку "на добу наперед" та внутрішньодобового ринку та організацію купівлі-продажу електричної енергії на цих ринках;

Споживач – фізична особа, у тому числі фізична особа – підприємець, або юридична особа, що купує електричну енергію для власного споживання;

Гарантований покупець електричної енергії (далі – гарантований покупець) – суб'єкт господарювання, що зобов'язаний купувати електричну енергію у виробників, яким встановлено "зелений" тариф, а також у виробників за аукціонною ціною та виконувати інші функції, визначені законодавством;

Комерційний облік на ринку електричної енергії організовується адміністратором комерційного обліку та здійснюється постачальниками послуг комерційного обліку відповідно до Закону України «Про ринок електричної енергії», кодексу комерційного обліку та правил ринку.

Адміністратор комерційного обліку електричної енергії (далі – адміністратор комерційного обліку) – юридична особа, яка забезпечує організацію та адміністрування комерційного обліку електричної енергії на ринку електричної енергії, а також виконує функції центральної агрегації даних комерційного обліку.

Складові Нового ринку електричної енергії:

- балансуючий ринок (БР);
- ринок "на добу наперед" (РДН);
- внутрішньодобовий ринок (ВДР);
- двосторонній договір (РДД).

Структура генерації електроенергії України за 2019 рік представлена на рисунку 1.6.





Рисунок 1.6 - Структура генерації електроенергії України

Як видно з рисунку частка генерації електричної енергії ВДЕ порівняно з Бразилією та Австралією невелика. Проте з кожним роком частка ВДЕ в загальній генерації зростає. На рисунку 1.7 представлено структуру відпуску ВДЕ електроенергії по рокам та прогноз на 2020 рік.

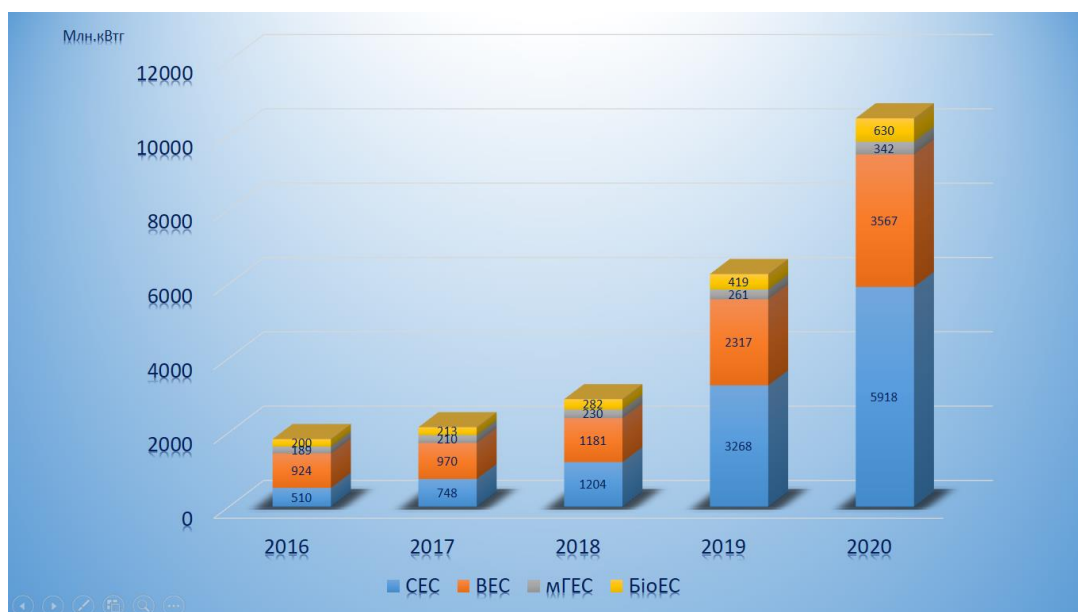


Рисунок 1.7 - Структуру відпуску ВДЕ електроенергії по рокам та прогноз на 2020 рік.

Далі представимо у вигляді діаграми (рисунок 1.8) частку генерації електроенергії з ВДЕ за видами генерації за 2019 рік .



Рисунок 1.8 - Частка генерації електроенергії з ВДЕ за видами генерації

Як видно з рисунку 1.6 та 1.7 відбувається стрімке зростання частки ВДЕ, найбільшу частку генерації електроенергії з ВДЕ складають СЕС та ВЕС. До основних позитивних наслідків активного впровадження ВДЕ в електроенергетиці України, вочевидь, відноситься зменшення потреби у викопних ресурсах під час виробництва електроенергії, що призводить до зниження викидів CO<sub>2</sub>, зокрема на ТЕС. В частині впливу на ринок електроенергії слід виділити те, що обов'язкові до викупу в сегменті РДН обсяги пропозиції від ВДЕ зміщують пропозицію інших виробників, стимулюючи помітне зменшення маржинальних цін на РДН, які є важливою складовою у загальній вартості електроенергії для кінцевих споживачів.

Проте, разом із позитивними результатами, збільшення частки ВДЕ у структурі виробничих потужностей обумовило появу і ряду негативних

тенденцій, пов'язаних, передусім, з нерегульованими, різко змінними графіками відпуску електроенергії станціями з ВДЕ в умовах незадовільної якості прогнозування таких графіків (середня похибка прогнозування виробництва електроенергії на добу наперед (СЕС та ВЕС) в Україні  $\approx 35\%$ ), а саме: збільшення потреби в резервах на балансування режимів ОЕС України призводить як до скорочення пропозиції і підвищення цін в організованих сегментах ринку, так і до збільшення тарифу оператора системи передачі; внесені ВДЕ додаткові небаланси спричиняють збільшення обсягів балансування режимів ОЕС України та цін на БР, що призводить до збільшення як ціни небалансів, так і їхньої загальної вартості. Збільшення обсягів резервів на регулювання режимів ОЕС України призводить також до необхідності заміщення відносно дешевих потужностей АЕС маневреними вугільними енергоагрегатами, що спричиняє подальше збільшення вартості електроенергії та збільшення викидів CO<sub>2</sub>. Збільшення частки ВДЕ у структурі виробничих потужностей ОЕС України передусім посилює проблеми регулювання режимів. У той же час, вплив пропозиції електроенергії від виробників з ВДЕ

74 ISSN 1607-7970. Техн. електродинаміка. 2020. № 4 на процеси ціноутворення в сегментах ринку електроенергії має складний неоднозначний характер. Тому для прийняття рішень щодо подальшого розвитку ВДЕ необхідно виконувати дослідження причинно-наслідкових зв'язків такого впливу. Вирішення проблем, пов'язаних з розвитком ВДЕ, потребує розв'язання ряду організаційних, технологічних та наукових задач. Мова іде, зокрема, про впровадження аукціонів щодо встановлення нових потужностей ВДЕ та запровадження фінансової відповідальності за створювані небаланси, впровадження в ОЕС України високоманеврових генераторів з низьким рівнем викидів вуглецю, а також систем накопичення електричної енергії для потреб регулювання режимів. У зв'язку з цим до нагальних науково-практичних задач відноситься розробка методів та засобів для поліпшення якості прогнозу обсягів відпуску електроенергії станціями з ВДЕ.

Також важливо зазначити, що зважаючи на досвід Австралії та Німеччини найбільш точним та результативним є самопрогнозування ВДЕ. А найбільшим

стимулом для точного самопрогнозування ВДЕ є покладення відповідальності за небаланси на власників електростанцій, що виробляють електроенергію з ВДЕ.

Далі розглянемо більш детально діяльність ВДЕ на новому лібералізованому ринку електричної енергії України.

## **1.2 Діяльність виробників ВДЕ (ФЕС) на новому лібералізованому ринку електричної енергії України**

Згідно з Законом України «Про альтернативні джерела енергії» відновлювані джерела енергії (ВДЕ) – це відновлювані невикопні джерела енергії, а саме енергія сонячна, вітрова, аеротермальна, геотермальна, гідротермальна, енергія хвиль та припливів, гідроенергія, енергія біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів.

Діяльність виробників ВДЕ (зокрема, ФЕС) на ринку електричної енергії України регулюють наступні нормативно-правові документи: Закон України "Про ринок електричної енергії", Закон України «Про альтернативні джерела енергії», Правила ринку, Правила ринку «на добу наперед» і внутрішньодобового ринку, Правила роздрібного ринку, Кодекс комерційного обліку електричної енергії, Кодекс системи передачі, Кодекс системи розподілу, Порядок купівлі гарантованим покупцем електричної енергії, виробленої з альтернативних джерел енергії.

Далі розглянемо взаємодію виробників ВДЕ з учасниками ринку електричної енергії. Зобразимо схематично схему взаємодії виробників ВДЕ на рисунку 1.9.



Рисунок 1.9 - Схема взаємодії виробників ВДЕ з учасниками ринку електричної енергії

Розглянемо взаємодію ВДЕ з Оператором системи розподілу, оператором системи передачі, Гарантованим Покупцем та Адміністратором комерційного обліку більш детально.

### 1.2.1 Взаємодія ВДЕ з оператором системи передачі(ОСП)

Виробник з відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) для роботи на ринку електричної енергії має заключити наступні договори з ОСП:

- договір про врегулювання небалансів;
- договір про надання послуг з диспетчерського (оперативно-технологічного) управління;
- договір про надання послуг з передачі електричної енергії (за умови підключення до мереж ОСП та споживання електроенергії в режимі зупинки роботи станції).

Договір про врегулювання небалансів є публічним договором приєднання, який встановлює порядок та умови врегулювання небалансів електричної енергії учасника ринку, як сторони відповідальної за баланс (СВБ) у тому числі його

балансуючої групи. За цим договором учасник ринку (СВБ) врегульовує небаланси електричної енергії, що склалися в результаті діяльності її балансуючої групи на ринку електричної енергії, або передає свою відповідальність за небаланси електричної енергії іншій СВБ шляхом входження до її балансуючої групи. Виробник з відновлювальних джерел енергії мають право вступити до балансуючої групи гарантованого покупця.

Договір про надання послуг з диспетчерського (оперативно-технологічного) управління регулює оперативно-технологічні відносини під час взаємодії ОСП та учасником ринку в умовах паралельної роботи у складі об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України. Договір встановлює обов'язки та права ОСП та учасника ринку у процесі оперативного планування, експлуатації обладнання, диспетчерського управління та балансування енергосистеми в реальному часі та її захисту в надзвичайних ситуаціях, а також формування, обробки, передачі та відображення даних під час регламентованого обміну інформацією.

За договором про надання послуг з передачі електричної енергії ОСП зобов'язується надавати послугу з передачі електричної енергії з дотриманням установлених показників якості учаснику ринку електричної енергії. Учасник ринку у свою чергу зобов'язується подавати ОСП планові обсяги передачі електроенергії та обсяги планової резервованої потужності за затвердженими ОСП формами у терміни та відповідно до порядку зазначеному у договорі.

### **1.2.2 Взаємодія ВДЕ з Оператором системи розподілу (ОСР)**

Кожен учасник ринку електричної енергії згідно з Кодексом систем розподілу має укласти договір про надання послуг з розподілу електроенергії. Для виробників це договір виробника про надання послуг з розподілу електроенергії.

Порядок взаємодії Виробника та ОСР регулюється додатками до договору: «Порядок інформаційної взаємодії між Оператором системи розподілу та Виробником», «Алгоритм формування даних комерційного обліку для Виробника», «Порядок формування акту наданих послуг з розподілу електричної енергії», «Положення про оперативно-технологічні взаємовідносини Центральної диспетчерської служби Оператора системи розподілу та Виробника».

У порядку інформаційної взаємодії між Оператором системи розподілу та Виробником прописаний порядок збору та передачі даних комерційного обліку електроенергії до ОСР.

У додатку «Алгоритм формування даних комерційного обліку для Виробника» прописано поняття відпуску електричної енергії, а також формування звітних документів.

У додатку «Положення про оперативно-технологічні взаємовідносини Центральної диспетчерської служби Оператора системи розподілу та Виробника» визначаються оперативно-технологічні взаємовідносини оперативного персоналу Виробника з оперативним персоналом ОСР (Порядок подачі заявок на виведення обладнання в ремонт, оперативного обслуговування, ліквідації технологічних порушень)

### **1.2.3 Взаємодія ВДЕ з Адміністратором комерційного обліку (ПрАТ «НЕК «Укренерго»)**

Комерційний облік на ринку електричної енергії організовується АКО та здійснюється постачальниками послуг комерційного обліку відповідно до вимог Закону України "Про ринок електричної енергії", Кодексу комерційного обліку, Правил роздрібного ринку та Правил ринку.

Згідно статті 53 Закону України «Про ринок електричної енергії» Оператор системи передачі (ПрАТ «НЕК «Укренерго») виконує функції Адміністратора комерційного обліку.

Надання послуг комерційного обліку здійснюється ППКО на конкурентних засадах за умови реєстрації ППКО та реєстрації його автоматизованих систем, що використовуються для комерційного обліку електричної енергії АКО у порядку, встановленому Кодексу комерційного обліку.

Взаємодія АКО з Виробниками регулюється Порядком підготовки та надання даних комерційного обліку постачальниками послуг комерційного обліку електричної енергії. У порядку прописані правила надання до системи MMS погодинних валідованих даних комерційного обліку електричної енергії за першою та другою версіями та надання звітних документів до АКО.

#### **1.2.4 Взаємодія ВДЕ з Гарантованим покупцем (ДП «Гарантований покупець»)**

Нормативно правовим-актом, що регулює взаємодію відновлювальних джерел енергії є ПОСТАНОВА від 26 квітня 2019 року N 641 «Про затвердження нормативно-правових актів, що регулюють діяльність гарантованого покупця та купівлі електричної енергії за "зеленим" тарифом та за аукціонною ціною», а саме «Порядок купівлі гарантованим покупцем електричної енергії, виробленої з альтернативних джерел енергії».

Цей Порядок визначає порядок купівлі-продажу гарантованим покупцем електричної енергії у виробників, яким встановлено "зелений" тариф, та суб'єктів господарювання, які за результатами аукціону набули право на підтримку.

Для здійснення купівлі-продажу електричної енергії Виробник повинен стати учасником ринку електричної енергії, укласти з гарантованим покупцем двосторонній договір купівлі-продажу електричної енергії за "зеленим" тарифом або за аукціонною ціною, типові форми яких затверджені Регулятором, вступити на підставі цього договору до балансуючої групи гарантованого покупця та здійснювати операції з купівлі та продажу електричної енергії лише із гарантованим покупцем.

Розрахунок з Виробниками відбувається за наданими Адміністратором комерційного обліку на другий робочий день після розрахункового сертифікованими даними комерційного обліку електричної енергії про погодинні обсяги відпуску та споживання електричної енергії кожною генеруючою одиницею продавців гарантованому покупцю, у яких гарантований покупець купує електричну енергію. На основі даних розраховується значення сальдо перетікань електричної енергії для генеруючої одиниці.

Якщо сальдо перетікань електричної енергії має додатне значення, то обсяг відпуску електричної енергії генеруючою одиницею виробника та, відповідно, її продажу за "зеленим" тарифом або за аукціонною ціною за цей розрахунковий місяць приймається рівним абсолютному значенню відповідного сальдо перетікань електричної енергії, а обсяг купівлі продавцем у гарантованого



покупця електричної енергії, що надійшла із зовнішніх мереж на власні потреби генеруючої одиниці, за цей розрахунковий місяць приймається рівним нулю.

$$\text{Якщо } W_{\text{сальдо}} < 0, \text{ то в такому випадку:} \quad W_{\text{продаж}} = 0; \quad (1.1)$$

$$W_{\text{купівля}} = |W_{\text{сальдо}}|. \quad (1.2)$$

$$\text{Якщо } W_{\text{сальдо}} > 0, \text{ то в такому випадку:} \quad W_{\text{продаж}} = W_{\text{сальдо}}; \quad (1.3)$$

$$W_{\text{купівля}} = 0. \quad (1.4)$$

Якщо сальдо перетікань електричної енергії має від'ємне значення, то обсяг відпуску електричної енергії генеруючою одиницею продавця та, відповідно, її продажу за "зеленим" тарифом або за аукціонною ціною гарантованому покупцю за цей розрахунковий місяць приймається рівним нулю, а обсяг купівлі за "зеленим" тарифом або за аукціонною ціною продавцем у гарантованого покупця електричної енергії, що надійшла із зовнішніх мереж на власні потреби генеруючої одиниці продавця, за цей розрахунковий місяць приймається рівним абсолютному значенню відповідного сальдо перетікань електричної енергії.

### **1.3 Прогнозування відпуску електричної енергії ВДЕ на лібералізованому ринку електричної енергії.**

Розглянемо наявні вимоги до прогнозування ВДЕ. Згідно до ПОСТАНОВИ від 26 квітня 2019 року № 641 «Про затвердження нормативно-правових актів, що регулюють діяльність гарантованого покупця та купівлі електричної енергії за "зеленим" тарифом та за аукціонною ціною», а саме «Порядок купівлі гарантованим покупцем електричної енергії, виробленої з альтернативних джерел енергії» Виробники за "зеленим" тарифом мають до 9:00 за день до торгового дня надавати гарантованому покупцю прогнознi погодинні добові графіки відпуску електричної енергії та інформацію про доступну потужність генеруючих одиниць з розбивкою по технологіях, тарифах/ видах генерації/ за видом альтернативного джерела та по географічних регіонах. І починаючи з 15:00 дня, що передує торговому, але не пізніше ніж за дві години 45 хвилин до розрахункового періоду

Виробники надають гарантованому покупцю оновлений графік відпуску електричної енергії та доступну потужність генеруючих одиниць з розбивкою по технологіях, тарифах/ видах генерації/ за видом альтернативного джерела та по географічних регіонах для кожного розрахункового періоду торгового дня.

Прогнозні обсяги, що надаються Виробниками мають відповідати обсягам, що зазначаються у графіках фізичного відпуску електричної енергії, що надаються Виробниками ОСП та фізичним можливостям генеруючого обладнання. У разі наявності невідповідності такі прогнозні обсяги не враховуються гарантованим покупцем при подачі заявок на ринку електричної енергії, а у разі відсутності попередньо наданих продавцем прогнозних обсягів відпуску вони визначаються як нульовий відпуск.

Порядок надання Виробниками даних щодо прогнозних обсягів відпуску визначається гарантованим покупцем в інструкції з надання прогнозних даних, що публікується на його веб-сайт.

На даний момент всю відповідальність за небаланси між наданими прогнозними погодинними добовими графіками відпуску електричної енергії Виробниками за "зеленим" тарифом, що відносяться до балансуючої групи гарантованого покупця та обсягами, що зазначаються у графіках фізичного відпуску електричної енергії, що надаються Виробниками ОСП несе ДП «Гарантований Покупець».

Саме через відсутність відповідальності за небаланси між наданими прогнозними погодинними добовими графіками відпуску електричної енергії та обсягами, що зазначаються у графіках фізичного відпуску електричної енергії у Виробників за "зеленим" тарифом відсутній стимул до точного прогнозування виробництва електроенергії.

Тому урядом було внесено зміни до Закону України «Про ринок електричної енергії». Згідно до Закону України «Про ринок електричної енергії» частка відшкодування гарантованому покупцю суб'єктами господарювання, які входять до складу балансуючої групи гарантованого покупця та здійснюють продаж електричної енергії, виробленої з альтернативних джерел енергії на об'єктах

електроенергетики, встановлена потужність яких не перевищує 1 МВт, за "зеленим" тарифом або аукціонною ціною, вартості врегулювання небалансу гарантованого покупця становить:

- до 31 грудня 2020 року – 0 відсотків;
- з 1 січня 2021 року – 10 відсотків;
- з 1 січня 2022 року – 20 відсотків;
- з 1 січня 2023 року – 30 відсотків;
- з 1 січня 2024 року – 40 відсотків;
- з 1 січня 2025 року – 50 відсотків;
- з 1 січня 2026 року – 60 відсотків;
- з 1 січня 2027 року – 70 відсотків;
- з 1 січня 2028 року – 80 відсотків;
- з 1 січня 2029 року – 90 відсотків;
- з 1 січня 2030 року – 100 відсотків.

Частка відшкодування гарантованому покупцю суб'єктами господарювання, які входять до складу балансуючої групи гарантованого покупця та здійснюють продаж електричної енергії, виробленої з альтернативних джерел енергії на об'єктах електроенергетики, встановлена потужність яких перевищує 1 МВт, за "зеленим" тарифом або аукціонною ціною, вартості врегулювання небалансу гарантованого покупця становить:

- до 31 грудня 2020 року - 0 відсотків;
- з 1 січня 2021 року - 50 відсотків;
- з 1 січня 2022 року - 100 відсотків.

Неточність поданих прогнозів відпуску електричної енергії Виробниками за "зеленим" тарифом, окрім впливу на зростання вимог до обсягу балансуючих потужностей, погіршення ефективності режимів ОЕС та перекладання вартості врегулювання небалансів на споживачів, як було вказано раніше впливає також і на обсяги участі ДП «Гарантований Покупець» на ринку "на добу наперед" та внутрішньодобовому ринку. Зважаючи на це доцільно проаналізувати результати функціонування РДН та ВДР.

#### 1.4 Аналіз результатів функціонування РДН та ВДР

Лібералізація ринку електроенергії (РЕЕ) України передбачає виокремлення різних часових інтервалів торгівлі електроенергією (ЕЕ): від декількох років до доби, що йде за добою фізичного постачання, що дозволяє відокремити різні часові границі ринку – форвардний, спотовий та балансуючий РЕЕ. Принципи побудови та організації цих часових сегментів складають основу організаційно-економічного механізму функціонування РЕЕ [5].

Мета побудови такого механізму полягає у задоволенні потреб споживачів ЕЕ за мінімальними витратами, що вимагає як короткострокової ефективності експлуатації існуючих ресурсів за мінімальних витрат, так і довгострокових інвестицій для забезпечення розвитку генеруючих потужності та диверсифікації джерел електрогенерації. Різні часові сегменти РЕЕ переслідують окремі підцілі:

- довгостроковий РЕЕ, спрямований на досягнення довгострокової ефективності та забезпечення гарантування повернення капіталовкладень;
- спотовий РЕЕ – на короткострокову ефективність та мінімізацію витрат на купівлю ЕЕ як товару;
- балансуючий РЕЕ – на підтримання операційної безпеки ОЕС та встановлення фінансової відповідальності учасників РЕЕ за небаланси ЕЕ [6].

Первинним нормативно-правовим документом, який регулює функціонування спотового РЕЕ України, є Закон України «Про ринок електричної енергії» від 13.04.2017 № 2019-VIII, згідно з яким виділяються такі сегменти :

а) ринок «на добу наперед» (РДН) - організований сегмент ринку електричної енергії, на якому здійснюється купівля-продаж електричної енергії на наступну за днем проведення торгів добу

б) внутрішньодобовий ринок (ВДР) - організований сегмент ринку електричної енергії, на якому купівля-продаж електричної енергії здійснюється безперервно після завершення торгів на ринку «на добу наперед» та впродовж

доби фізичного постачання електричної енергії (торги завершуються за 60 хв до фізичного постачання).

Систематизація нормативно-правових положення вторинного законодавства РЕЕ України дозволяє представити особливості (табл. 2.1) функціонування цих часових сегментів. [7]

Таблиця 1.1 - Особливості організованої торгівлі на РДН та ВДР України

Характеристика	РДН	ВДР
Періодичність торгів	1 раз на добу, 365 днів на рік	цілодобово, 365 днів на рік
Торгівельні контракти	Погодинні – 256 заявок	
Відкриття воріт	За 7 календарних днів до фізичної доби постачання	15:00 Д-1
Закриття воріт	11:00 Д-1 за українським часом	За 60 хв до фізичного постачання
Механізм ціноутворення	Закритий аукціон	Безперервні торги
Метод ціноутворення	Маржинальний	По заявленій ціні
Діапазон цін	від 10 грн /МВт*год до 50000 грн / МВт*год	
Час оприлюднення результатів торгів РДН	Д-1 14:30	Д+1 14:30
Мінімальний крок ціни та обсягу	0,01 грн, 0,001 МВт	
Кліринг і врегулювання	уповноважений банк	
Зони передачі	Укренерго в собі ОСП за ринковими зонами	

Необхідними умовами участі в торгах РДН та ВДР в Україні є [8]:

- 1) укладання договору про врегулювання небалансів ЕЕ між учасниками ринку й ОСП;
- 2) укладання договорів про участь у РДН та/або ВДР між учасниками ринку та ОР;
- 3) відкриття рахунку ЕСКРОУ в уповноваженому банку.

Аналіз основних тенденцій розвитку спотової торгівлі ЕЕ у країнах – членах ЄС дозволяє виділити її такі особливості [9]:

1. РДН складають основу спотової торгівлі ЕЕ, тоді як ВДР не досягли достатнього рівня ліквідності;
2. виділяються два види ринкових продуктів на РДН та ВДР – погодинні та блочні заявки;
3. відзначається скорочення часу функціонування РДН та наближення ВДР до реального часу фізичного постачання;
4. раннє «закриття воріт» РДН сприяє більш прозорій позабіржовій торгівлі, тоді як синхронізація часу їх закриття сприяє встановленню очищеної та справедливої ціни;
5. спотова торгівля відбувається за ринковими зонами як здебільшого збігається із територією країни, виокремлення окремих ринкових зон є виключенням та пов'язано із функціонуванням на території країни одночасно декількох ОСП;
6. відбувається розширення функціонування енергетичних бірж на території інших країн, що обумовлює наявність конкуренції між операторами ринку в одній ринковій зоні.

Для організації РДН та ВДР ДП «Енергоринок» в особі оператору ринку провела 24.09.2018 р. відкриті торги із закупівлі відповідного програмного забезпечення, переможцем яких визнано та вже укладено договір (10.10.2018 р.) словацьку компанію «Sfera A.S.». Договором передбачено впровадження та технічну підтримку програмного забезпечення протягом трьох років, яке використовується словацьким оператором ринку ОКТЕ a.s.

Отже, в основі функціонування спотового РЕЕ було закладено словацький 7-річний досвід (адже ця енергетична біржа функціонує тільки із 01.01.2011 р.) функціонування РДН та ВДР.

Окрім «Sfera A.S.», для участі в торгах було подано пропозиції ще двох учасників – нідерландська компанія «Soops Investment B.V.» (повна інформація щодо неї в інформаційній базі Bloomberg відсутня) та британська компанія «Trauport Limited» [10]. Однак останню не допустили до аукціону у зв'язку з відсутністю перекладу документа на українську мову, хоча саме ця компанія мала

найбільший досвід з розробки відповідних програмних продуктів для декількох європейських енергетичних бірж: угорської HUPX, болгарської IBEX, іспансько-португальської IBEX, румунської OPCOM та об'єднаної енергетичної бірж країн ЦВЕ RHE [11].

Внутрішньодобовий ринок повинен працювати таким чином, щоб дозволити генеруючим одиницям, трейдерам і постачальникам перепланувати свої сумарні позиції шляхом купівлі-продажу обсягів електроенергії на портфельній основі на централізованій внутрішньодобовій платформі. Переплановані номінації, після підтвердження результатів внутрішньодобової торгівлі, мають бути доведені до ОСП для того, щоб врахувати їх в процесі балансування. Тому важливо, щоб інформаційна система була розроблена таким чином, щоб дозволити взаємозв'язок з безперервною внутрішньодобовою торгівлею.

Купівля-продаж електричної енергії на ринку «на добу наперед» здійснюється за правилами ринку «на добу наперед» та внутрішньодобового ринку, затвердженими постановою НКРЕКП від 14 березня 2018 року № 308 «Про затвердження Правил ринку «на добу наперед» та внутрішньодобового ринку». Протягом 2019 року на ринку «на добу наперед» було продано/куплено 53208 тис. МВт\*год вартістю 65928 млн грн. У 2018 році обсяг купівлі-продажу електричної енергії на ринку «на добу наперед» збільшився на 13% порівняно із 2017 роком, а у 2019 році – на 7% порівняно із попереднім роком (рис.1.10).

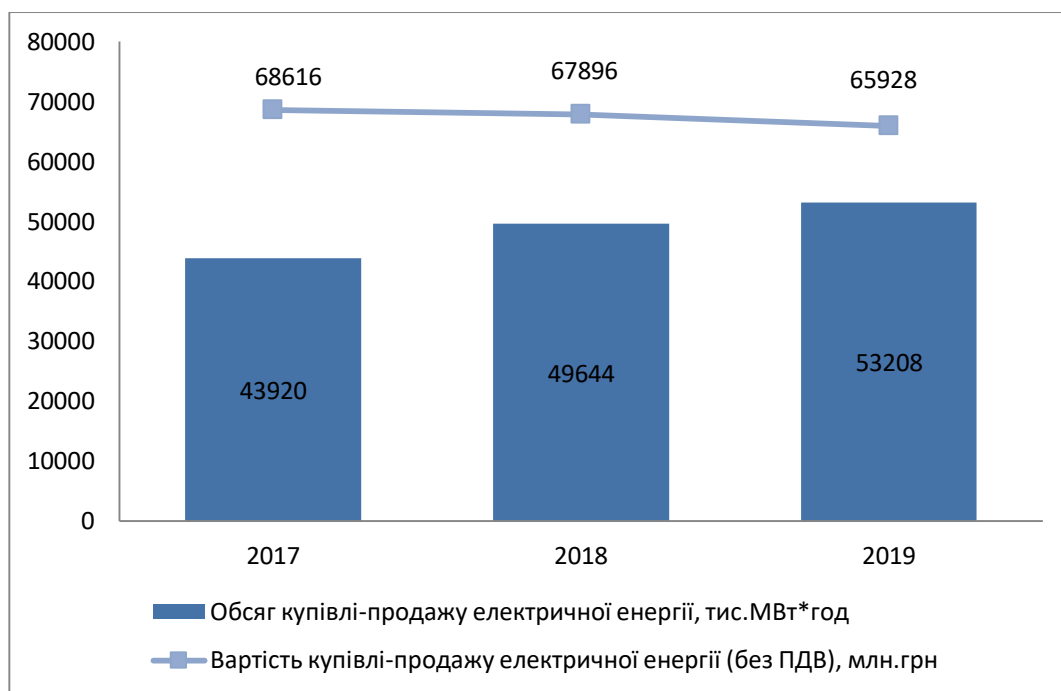


Рисунок 1.10 - Обсяг та вартість купівлі-продажу електричної енергії на РДН протягом 2017-2019 рр

Основними продавцями на ринку «на добу наперед» були виробники – 47% від загального обсягу продажу електричної енергії на цьому сегменті, 42% електричної енергії було продано гарантованим покупцем (рис. 1.11). Найбільш активними за обсягами продажу на ринку «на добу наперед» були такі учасники: ДП «Гарантований покупець», ДП «НАЕК «Енергоатом», ПрАТ «Укргідроенерго», ПАТ «Центренерго» та АТ «ДТЕК Західенерго».



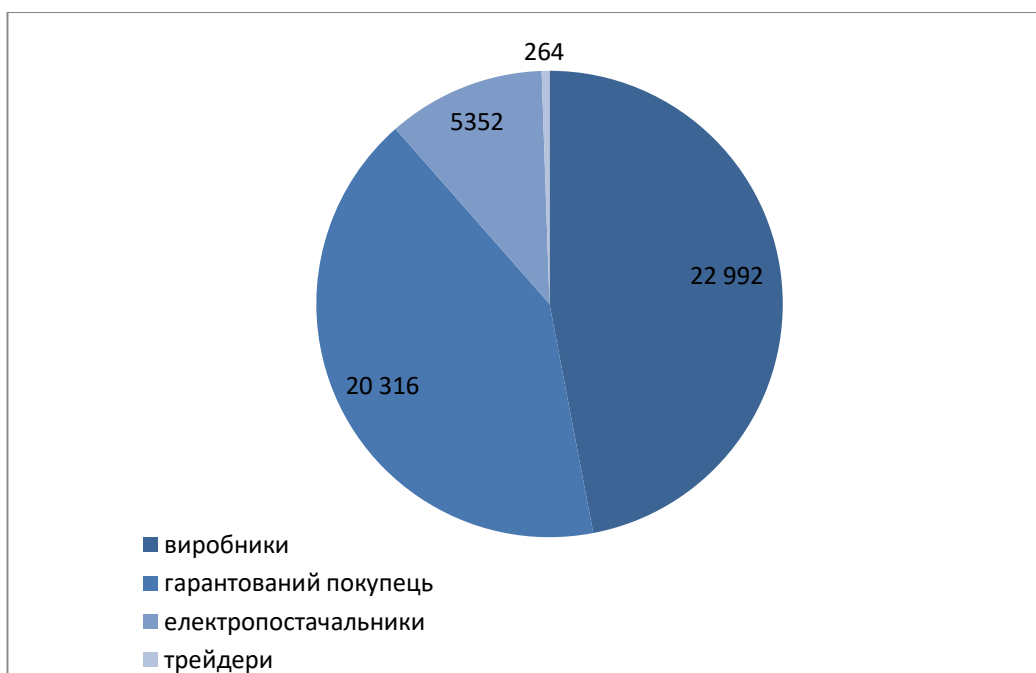


Рисунок 1.11 - Фактичний обсяг проданої електричної енергії за результатами проведених торгів на РДН протягом 2019 р., тис. МВт\*год

Основну частку обсягу електричної енергії на ринку «на добу наперед» було куплено електропостачальниками – 90% від загального обсягу продажу електричної енергії на цьому сегменті (рис. 1.12). Найбільш активними за обсягами купівлі на ринку «на добу наперед» були такі учасники: ТОВ «Д. Трейдинг», ПрАТ «Харківенергозбут», ТОВ «Львівенергозбут», ДП «Гарантований покупець» та ТОВ «Київська обласна ЕК».

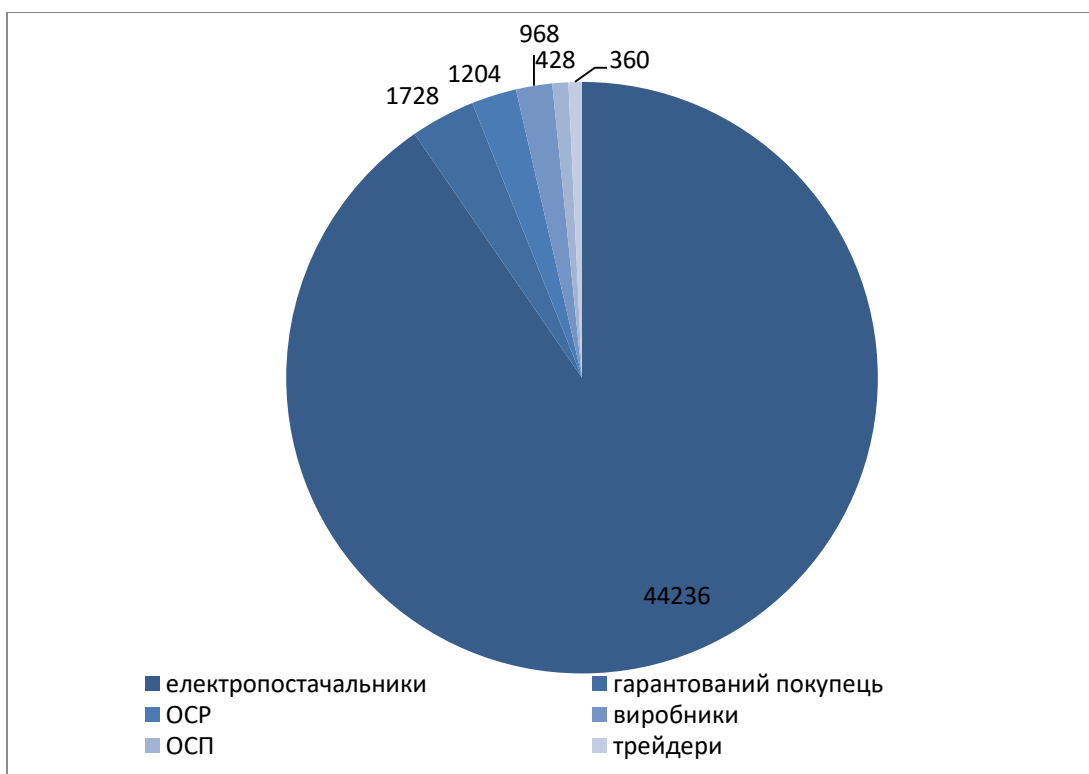


Рисунок 1.12 - Фактичний обсяг купленої електричної енергії за результатами проведених торгів на РДН протягом 2019 р., тис. МВт\*год

99% заявок на купівлю електричної енергії та 79% на її продаж на ринку «на добу наперед» було прийнято (акцептовано) оператором ринку, 21% заявок на продаж не було прийнято (не акцептовано) (рис. 1.13).

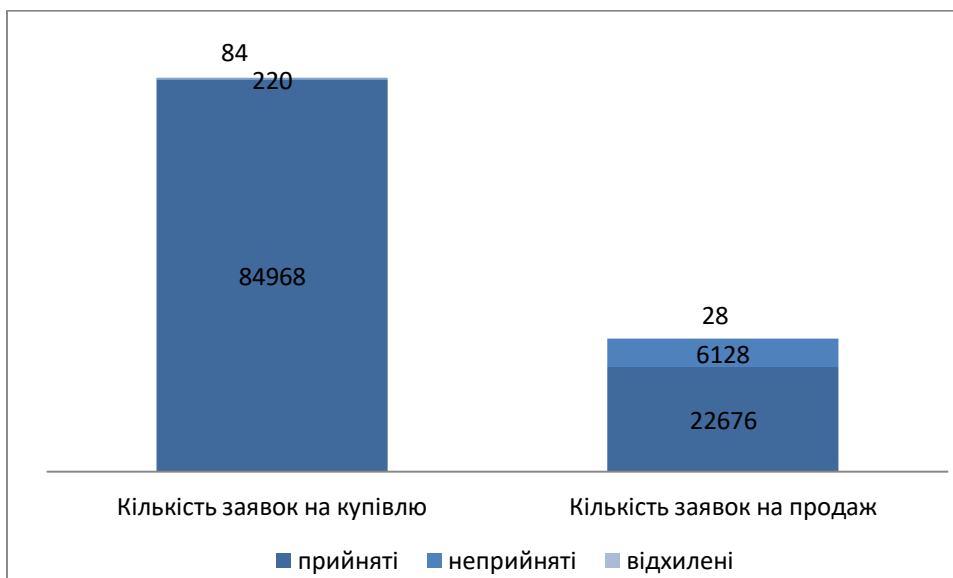


Рисунок 1.13 - Активність участі на РДН за 2019 р., тис. МВт\*год

Купівля-продаж електричної енергії на внутрішньодобовому ринку здійснюється за правилами ринку «на добу наперед» та внутрішньодобового ринку, затвердженими постановою НКРЕКП від 14 березня 2018 року № 308 «Про затвердження Правил ринку «на добу наперед» та внутрішньодобового ринку». Протягом 2019 року на внутрішньодобовому ринку було продано/куплено 1236 тис. МВт\*год вартістю 1560 млн грн. У 2018 році обсяг купівлі-продажу електричної енергії на внутрішньодобовому ринку зріс на 108% порівняно із попереднім роком, а у 2019 році знизився на 49% порівняно із 2018 роком (рис.1.14).

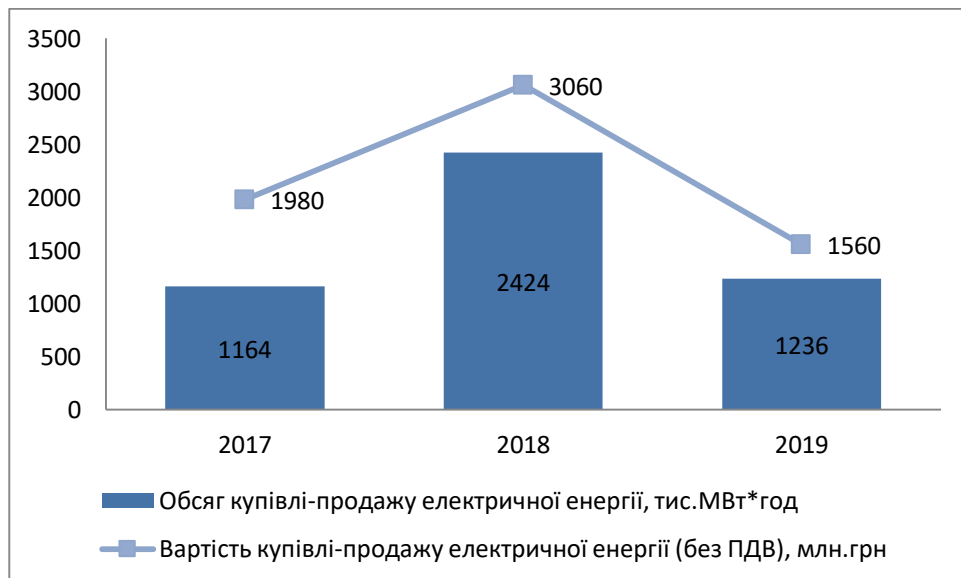


Рисунок 1.14 - Обсяг та вартість купівлі-продажу електричної енергії на РДН протягом 2017-2019 рр.

Основними продавцями на внутрішньодобовому ринку були виробники – 65% від загального обсягу продажу електричної енергії на цьому сегменті, 20% електричної енергії було продано електропостачальниками (рис. 1.15). Найбільш активними за обсягами продажу на внутрішньодобовому ринку були такі учасники: АТ «ДТЕК Західенерго», ДП «Гарантований покупець», АТ «ДТЕК Дніпроенерго», ДП «НАЕК «Енергоатом» та ПрАТ «Укргідроенерго».

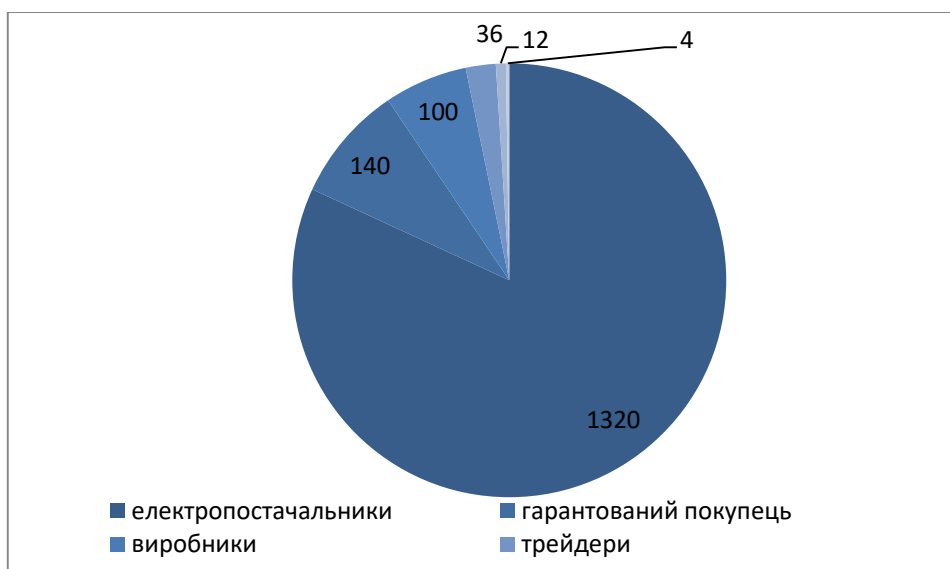


Рисунок 1.15 - Фактичний обсяг проданої електричної енергії за результатами проведених торгів на ВДР протягом 2019 р., тис. МВт\*год

Основну частку обсягу електричної енергії на внутрішньодобовому ринку було куплено електропостачальниками – 82% від загального обсягу продажу електричної енергії на цьому сегменті (рис. 1.16). Найбільш активними за обсягами купівлі на внутрішньодобовому ринку були такі учасники: ТОВ «Д. Трейдінг», ДП «Гарантований покупець» та ТОВ «Енерго-газ».



Рисунок 1.16 - Фактичний обсяг купленої електричної енергії за результатами проведених торгів на ВДР протягом 2019 р., тис. МВт\*год

54% заявок на купівлю електричної енергії та 49% на її продаж на внутрішньодобовому ринку було прийнято (акцептовано) оператором ринку, 34% заявок на купівлю та 35% на продаж не прийнято (не акцептовано) і 12% заявок на купівлю та 16% на продаж скасовано (рис. 1.17).

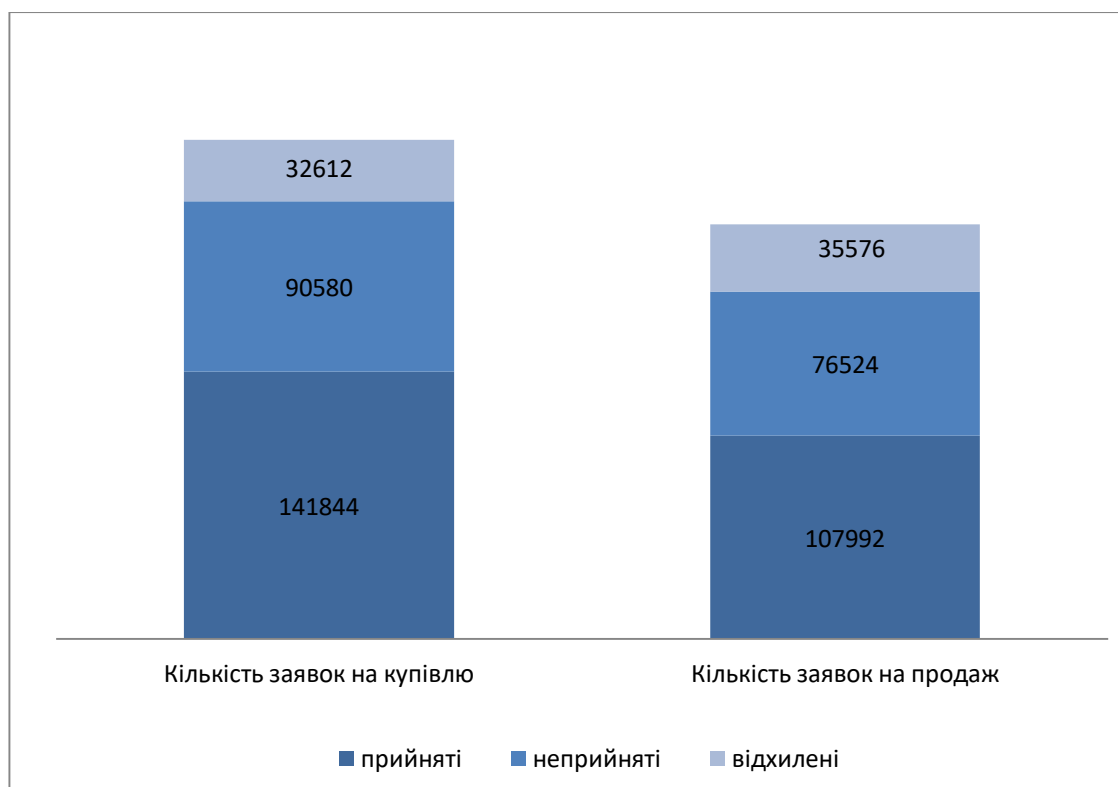


Рисунок 1.17 - Активність участі на ВДР за 2019 р.

Внутрішньодобовий ринок є важливим ринковим елементом у створенні ефективно функціонуючого ринку електроенергії. Зокрема, ВДР дає можливість Учасникам ринку, скорегувати свої торговельні позиції на основі їх ризиків з урахуванням ринкових і системних умов, що змінюються при наближенні режиму реального часу. Здатність учасників ринку корегувати свої позиції також має важливе значення для інтеграції до ринку електроенергії непрогнозованих ВДЕ, таких як енергія вітру і сонячна енергія. Це дозволяє використовувати ВДЕ більш точні короткострокові прогнози для їх виробництва і зменшити їх небаланс в реальному часі. Учасники ринку ВДР в Україні зможуть корегувати свої торговельні позиції після закриття воріт РДН з урахуванням нової інформації щодо свого виробництва і споживання, роботи ринку і системних умов.

### 1.5 Постановка завдань досліджень

На даний момент відбувається стрімке зростання частки ВДЕ у структурі виробничих потужностей України, що має ряд негативних наслідків таких як збільшення потреби в резервах на балансування режимів ОЕС України, що в свою чергу призводить до скорочення пропозиції і підвищення цін в організованих сегментах ринку, так і до збільшення тарифу оператора системи передачі. Також, ДП «Гарантований Покупець» є одним з найбільш активних продавців за обсягами продажу на ринку «на добу наперед» та внутрішньодобовому ринку, що означає, що окрім впливу на ефективність балансування ОЕС в умовах значної частки ВДЕ, точність прогнозування відпуску ВДЕ впливає і на обсяги участі ДП «Гарантований Покупець» на ринку "на добу наперед" та внутрішньодобовому ринку. У зв'язку з цим розробка нових та вдосконалення існуючих методів та засобів для поліпшення якості прогнозування обсягів відпуску електроенергії станціями на базі ВДЕ відноситься до найбільш актуальних науково-практичних задач. То ж, для досягнення мети магістерської дисертації, а саме: підвищення ефективності функціонування лібералізованого ринку електричної енергії шляхом вдосконалення методів прогнозування відпуску електроенергії на базі ВДЕ і застосування АСКОЕ з функціями прогнозування та оперативного обміну інформацією між суб'єктами ринку, необхідно виконати наступні завдання:

1. Дослідити та вдосконалити методи прогнозування виробітку та відпуску електричної енергії ФЕС.
2. Здійснити апробацію вдосконалених методів шляхом прогнозування виробітку і відпуску електричної енергії діючої ФЕС та проаналізувати використання різних моделей числового прогнозу погоди для врахування впливу хмарності.
3. Дослідити існуючу модель АСКОЕ ФЕС.
4. Розробити модель АСКОЕ з функцією прогнозування виробітку та відпуску електричної енергії ФЕС.

## Висновки до розділу 1

Лібералізація ринків електроенергії є одним з головних етапів розвитку, реалізованим у різних формах та обсягах більшістю країн-членів ЄС та інших розвинених країн. Україна у липні 2019 року де-факто розпочала державну реформу ринку електричної енергії. На даний момент відбувається стрімке зростання частки ВДЕ у структурі виробничих потужностей України. Це обумовило появу низки негативних тенденцій, пов'язаних, передусім, з нерегульованими, різко змінними графіками відпуску електроенергії станціями з ВДЕ в умовах незадовільної якості прогнозування таких графіків (похибка прогнозування виробництва електроенергії СЕС та ВЕС на добу наперед в Україні складає в середньому 35%), а саме: збільшення потреби в резервах на балансування режимів ОЕС України призводить як до скорочення пропозиції і підвищення цін в організованих сегментах ринку, так і до збільшення тарифу оператора системи передачі. Одним з шляхів розв'язання даної проблеми може бути підвищення точності прогнозування виробітку та відпуску електричної енергії генерувальними станціями на базі ВДЕ. У зв'язку з цим розробка нових та вдосконалення існуючих методів і засобів для поліпшення якості прогнозування обсягів відпуску електроенергії станціями на базі ВДЕ відноситься до найбільш актуальних науково-практичних задач сучасної енергетики і набуває надважливого значення для розвитку електроенергетичних систем в рамках концепції Smart Grid.

Зважаючи на досвід Австралії та Німеччини, найбільш точним та результативним є самопрогнозування ВДЕ. А найбільшим стимулом для точного самопрогнозування ВДЕ є покладення відповідальності за небаланси на власників електростанцій, що виробляють електроенергію з ВДЕ.

За результатами досліджень діяльності ФЕС на новому лібералізованому ринку електричної енергії України та їхньої взаємодії з іншими учасниками лібералізованих ринків електроенергії, зокрема, з ДП «Гарантований Покупець», визначено, що ДП «Гарантований Покупець» є одним з найбільш активних продавців за обсягами продажу на ринку «на добу наперед» та

внутрішньодобовому ринку. То ж, окрім впливу на ефективність балансування ОЕС в умовах значної частки ВДЕ, точність прогнозування відпуску ВДЕ впливає і на обсяги участі ДП «Гарантований Покупець» на ринку "на добу наперед" та внутрішньодобовому ринку. Саме тому розроблення нових і вдосконалення існуючих методів прогнозування виробітку і відпуску електричної енергії ФЕС та автоматизація інформаційної взаємодії із суб'єктами ринку є одними з найактуальніших завдань, успішне розв'язання яких сприятиме підвищенню ефективності функціонування ринку електричної енергії України.



## **2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ВИРОБІТКУ ТА ВІДПУСКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ФЕС**

### **2.1 Дослідження та вдосконалення методів прогнозування виробітку та відпуску електричної енергії ФЕС**

Як було вказано раніше, неточність поданих прогнозів відпуску електричної енергії Виробниками за "зеленим" тарифом, в тому числі ФЕС, впливає на зростання вимог до обсягу балансуючих потужностей, погіршення ефективності режимів ОЕС та перекладання вартості врегулювання небалансів на споживачів, а також впливає і на обсяги участі ДП «Гарантований Покупець» на ринку "на добу наперед" та внутрішньодобовому ринку. Наразі питання точності прогнозування актуалізується і для самих Виробників за «зеленим» тарифом, так як плату за небаланси (різницю між прогнозованим і фактичним погодинним генеруванням) з 2021 року буде покладено саме на них.

Тому розглянемо методи прогнозування виробітку та відпуску електричної енергії ФЕС.

У цілому методи прогнозування поділяються на дві категорії. Фізичні методи переводять дані про погоду (наприклад, сонячну радіацію, хмарність, швидкість та напрямок вітру з врахуванням рельєфу поверхні та перешкод) у числові дані (числові прогнози погоди) для прогнозування конкретних місцевих погодних умов, в результаті які згодом можуть бути перетворені на прогнози по виробництву енергії. Статистичні методи спираються насамперед на накопичені попередні дані виробітку та відпуску ФЕС, супутникові чи погодні дані для визначення тенденцій, практично без урахування фізичних параметрів. Найкращі результати забезпечує комбіноване використання статистичних та фізичних методів прогнозування [12].

Розглянемо фізичний метод прогнозування. Вироблення енергії ФЕС суттєво залежить від погодних умов. Потужність ФЕС змінюється в часі пропорційно опроміненню їхньої робочої поверхні сонячним випромінюванням.

Тому першим етапом розрахунку прогнозованого відпуску ФЕС має бути визначення сумарної сонячної радіації на похилу поверхню сонячної панелі.

### **2.1.1 Розрахунок сонячної радіації, що потрапляє на поверхню сонячного модуля у певну годину доби**

Взагалі сонячне випромінювання надходить на похилу поверхню сонячної панелі у вигляді двох потоків сонячної енергії:

- прямого сонячного випромінювання – це випромінювання, що потрапляє на сонячну панель по прямій лінії від Сонця;
- дифузного сонячного випромінювання – це частина сонячної енергії, яка потрапляє на земну поверхню після відображення (розсіювання) від частинок і молекул в атмосфері.

Інтенсивність сонячного випромінювання у заданий час у певній точці визначається за 3 основними кутами:

- годинний кут  $\omega$  – це кут, який визначає кутовий зсув Сонця протягом доби, опівдні годинний кут дорівнює нулю, а значення часового кута до полудня вважаються позитивними, після полудня – негативними;
- кутом схилення  $\delta$ , що є кутом між направленням до Сонця та екваторіальною площиною;
- широтою місцевості  $\varphi$ .

Годинний кут у довільній точці визначаємо за виразом [13,14]:

$$\omega = 15(12-\tau), \quad (2.1)$$

де  $\tau$  – година доби.

Розраховуємо кут схилення  $\delta$  за виразом [13,14]:

$$\delta = \delta_0 \cdot \sin \left( 360 \cdot \frac{284+n}{366} \right), \quad (2.2)$$

де  $\delta_0$  – кут нахилу земної вісі у просторі відносно нормалі до площини обертання,  $\delta_0 = 23,5^\circ$ ;

$n$  – порядковий день року.

Зенітний кут Сонця – це висота Сонця на небі виміряна у градусах від вертикального положення. Значення зенітного куту Сонця визначаємо за виразом [13,14]:

$$\cos \theta_z = \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta, \quad (2.3)$$

де  $\varphi$  – широта місцевості.

Кількість прямого сонячного випромінювання, яке надходить на одиницю площі горизонтальної поверхні знаходимо за виразом [14]:

$$E_{\text{пр.гор}} = e_0 \tau_D \cos \theta_z, \quad (2.4)$$

де  $e_0$  – сонячна константа – інтенсивність сонячного випромінювання у вільному просторі на відстані, дорівній середній відстані між Сонцем та Землею,  $e_0 = 1360 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$  [13];

$\tau_D$  – коефіцієнт атмосферної прозорості, в.о.

Коефіцієнт атмосферної прозорості – це коефіцієнт, що враховує ефект впливу атмосфери на пряму сонячну радіацію. Коефіцієнт атмосферної прозорості знаходимо за виразом [14, 15]:

$$\tau_D = 0,56(e^{-0,65m} + e^{-0,095m}), \quad (2.5)$$

де  $m$  – маса повітря.

Масу повітря, що необхідна для розрахунку коефіцієнта атмосферної прозорості знаходимо за допомогою формули Кастена [14, 15]:

$$m = \frac{1 - 10^{-4}z}{\cos \theta_z + 0,50572(96,07995^\circ - \theta_z)^{-1,6364}}, \quad (2.6)$$

де  $z$  – висота розташування ФЕС відносно рівня моря.

Інтенсивність прямої сонячної радіації на похилу поверхню розраховуємо за виразом [14]:

$$E_{\text{пр.пох}} = R_b E_{\text{пр.гор}}, \quad (2.7)$$

Коефіцієнт для знаходження інтенсивності прямої сонячної радіації на похилу поверхню, отримаємо за виразом [3]:

$$R_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos \delta \cos \omega + \sin(\varphi - \beta) \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin(\varphi - \beta) \sin \delta}, \quad (2.8)$$

де  $\beta$  – кут нахилу сонячних панелей.

Для знаходження кількості дифузного сонячного випромінювання на одиницю площі горизонтальної поверхні використовуємо вираз [12, 15]:

$$E_{\text{диф.гор}} = e_0(0,271 - 0,294\tau_D) \cos \theta_z, \quad (2.9)$$

Для визначення кількості дифузного сонячного випромінювання на одиницю площі похилої поверхні використовуємо вираз [14, 16]:

$$E_{\text{диф.пох}} = RE_{\text{диф.гор}}, \quad (2.10)$$

де  $R$  – коефіцієнт, необхідний для розрахунку (перерахунку) інтенсивності дифузної радіації.

Для визначення коефіцієнту, що необхідний для розрахунку інтенсивності дифузної сонячної радіації на похилу поверхню використовуємо вираз [14]:

$$R = \Delta_{\text{пр}} R_b + \Delta_{\text{диф}} \frac{1 + \cos \beta}{2} + \frac{(1 - \cos \beta) \rho}{2}, \quad (2.11)$$

де  $\Delta_{\text{пр}}, \Delta_{\text{диф}}$  – відповідно доля прямої та дифузної сонячної радіації у сумарній радіації, для повністю ясного неба; згідно [14] приймаємо  $\Delta_{\text{пр}} = 0,8$ ,  $\Delta_{\text{диф}} = 0,2$ ;

$\rho$  – значення відбиваючої здатності поверхні Землі; вважаючи, що у листопаді відсутній сніжний покрій, приймаємо  $\rho = 0,2$  [14].

Для визначення інтенсивності сумарної сонячної радіації на похилу поверхню використовуємо вираз [14]:

$$E_{\text{пох}} = E_{\text{пр.пох}} + E_{\text{диф.пох}}, \quad (2.12)$$

### **2.1.2 Розрахунок прогнозованого виробітку ФЕС за умов ясного неба у певну годину доби.**

Наступним етапом розрахунку є розрахунок виробітку ФЕС для умов абсолютно ясного неба у певну годину доби:

$$P'_{\text{СЕС}} = \frac{P_{\text{м.п}} E_{\text{пох}} k_g}{1000}, \quad (2.13)$$

де  $P_{\text{м.п}}$  – максимально допустиме погодинне значення потужності, кВт·год;  
 $k_g$  – коефіцієнт для врахування втрат у дротах, відбивання частки сонячного випромінювання від скла у разі забруднення скла, нагрів фотоселементів ФЕС;  
 1000 – інтенсивність сонячної радіації для тестових умов, Вт/м².

### **2.1.3 Розрахунок прогнозованого виробітку ФЕС з врахуванням впливу хмарності неба у певну годину доби.**

Розрахований вихідний виробіток ФЕС відповідає умовам ясного неба, проте реальні умови відрізняються від умов ясного неба. Оскільки абсолютно ясне небо не характерне для кожної години та дня року, то необхідно врахувати вплив хмарності неба. Навіть невелика хмарність призводить до зниження виробітку ФЕС до 70%, а сильна хмарність призводить до зниження виробітку до 90% [14].

Враховуючи наведені міркування, а також матеріали, представлені у [14], можна ввести коригувальний коефіцієнт  $\alpha$ , який буде відображати ступінь зниження розрахованого на другому етапі вихідного виробітку ФЕС залежно від рівня хмарності. Для ясного неба коригувальний коефіцієнт дорівнює одиниці, для абсолютно похмурого неба 0,1. Згідно [17] хмарність вимірюється у відсотках. Нульова хмарність означає, що небо безхмарне. Хмарність 100% – усе небо вкрито хмарами. Хмарність 30% означає, що 30% неба вкрито хмарами.

Хмарність визначається за допомогою різних моделей числового прогнозу погоди. Числове прогнозування погоди використовує математичні моделі атмосфери і океанів для прогнозування погоди на основі поточних погодних умов. Взагалі процес підготовки гідродинамічного прогнозу можна умовно поділити на 2 етапи:

- 1) Перший етап можна назвати підготовчим. Починається все зі збору зведень погоди і їх архівації в пам'яті комп'ютера метеорологічного центру. Потім відбувається декодування зведень, контроль їх якості та створення попередньої бази даних. Зрозуміло, що розташування метеостанцій не є однорідним, тому їх дані інтерполюють у вузли так званої регулярної сітки – безлічі точок, рівномірно розташованих в просторі. Багато областей земної кулі (наприклад, океани, пустелі) на картах погоди виглядають як «білі плями», і для поповнення цього недоліку інформації широко використовуються метеорологічні супутники. Результатом підготовчого етапу є об'єктивний аналіз метеорологічних даних.

- 2) Другий етап чисельного моделювання атмосферних процесів являє собою власне гідродинамічний прогноз. За об'єктивному аналізу модель обчислює тенденцію зміни метеорологічних величин через невеликий проміжок часу, близько 10 хв. Отримана картина погоди є основою для розрахунку наступних тенденцій, і цей процес повторюється знову і знову. У більшості метеорологічних центрів максимальна завчасність модельного прогнозу становить 1-2 тижні. Оперативність переобчислення параметрів прогнозу погоди важлива, оскільки прогноз при занадто довгій підготовці втрачає практичну цінність. З метою зменшення машинного часу, що витрачається багато складних фізичних процесів описуються приблизно.

Одними з таких моделей числового прогнозу погоди є:

- 1) ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) – це європейська безперервна модель глобального прогнозу. Вона використовує концепцію 4D, що дозволяє постійно оновлювати модель у міру появи нових супутникових або інших вхідних даних.
- 2) GFS (The Global Forecast System) – це глобальна модель погоди, що оновлюється кожні шість годин американською метеорологічною службою. Ця модель складається з 4 окремих моделей, які працюють разом, щоб скласти точну картину погодних умов.
- 3) ICON (Global German Standard). Ця модель створена Німецькою метеорологічною службою (Deutscher Wetterdienst), ICON, як правило, вважається навіть більш точною, ніж ECMWF, завдяки кращому розширенню, хоча і лише для Європи.
- 4) NEMS (meteoblue) – прогнозна модель, що була розроблена у Базельському університеті у Швейцарії, на основі моделей NOAA / NCEP (National Centers for Environmental Prediction). Вона є великомасштабною моделлю (яка використовується як на глобальних, так і на локальних доменах) і значно покращує прогнозування розвитку хмарності та опадів [18].

З врахуванням коригувального коефіцієнту  $\alpha$  прогнозований виробіток ФЕС визначається за формулою:

$$P_{\text{СЕС}} = P'_{\text{СЕС}} \cdot \alpha, \quad (2.14)$$

де  $\alpha$ - коригувальний коефіцієнт для врахування хмарності неба.

#### **2.1.4 Розрахунок прогнозованого відпуску ФЕС з врахуванням втрат в трансформаторі та лініях електропередачі**

До ДП «Гарантований Покупець» надаються данні прогнозованого відпуску. Обсяги відпуску згідно до Інструкції з створення моделі комерційного обліку для об'єктів генерації електроенергії визначаються, як різниця між обсягами електричної енергії, відданої об'єктом генерації по лініям усіх класів напруги та обсягами електричної енергії, яка надійшла до об'єкту генерації по лініям. Облік відданої електроенергії зазвичай встановлюється на стороні 10 кВ. Тому для отримання прогнозованого відпуску ФЕС необхідно врахувати втрати в трансформаторі, втрати в ЛЕП та об'єми споживання на власні потреби.

Втрати в трансформаторах та втрати в ЛЕП розраховуються за Методичними рекомендаціями визначення технологічних витрат електроенергії в трансформаторах і лініях електропередавання, затверджених наказом Міненерговугілля України від 21.06.2013 №399.

Втрати активної енергії у двообмоткових трансформаторах у кВт·год. розраховують за формулами:

$$\Delta W_T^{(P)} = 3 \cdot I^2 \cdot R_T \cdot k_\phi^2 \cdot 10^{-3} \cdot T_P + P_{\text{н.х.}} \cdot T_H \quad (2.15)$$

де  $I$  – середнє протягом розрахункового періоду діюче значення сили струму трансформатора, А;

$k_\phi^2$  – коефіцієнт форми графіка навантаження трансформатора;

$R_T$  – активний опір трансформатора, Ом.;

$P_{\text{н.х.}}$  - втрати неробочого ходу трансформатора, кВт;

$T_P$  – час роботи трансформатора під навантаженням протягом розрахункового періоду, години;

$T_H$  – час находження трансформатора під напругою протягом розрахункового періоду, години.

Квадрат середнього діючого значення сили струму в елементі електричної мережі протягом розрахункового періоду визначають:

$$I^2 = \frac{P^2 + (Q)^2}{b \cdot T_p \cdot U_{\text{BH}}^2} \quad (2.16)$$

Активний опір розраховується за формулою:

$$R_T = \frac{P_{\text{KЗ}} \cdot U_{\text{BH}}^2 \cdot 10^3}{S_H^2} \quad (2.17)$$

Втрати активної енергії у кВт·год в проводах (ПЛ) або жилах кабелів (КЛ) розраховують за формулою:

$$\Delta W_{\text{П}}^{(P)} = a \cdot I^2 \cdot R_{\text{ЕК}} \cdot k_{\Phi}^2 \cdot T_p \cdot 10^{-3} \quad (2.18)$$

де  $a$  - коефіцієнт, що дорівнює 3 для трифазної мережі і 2 для однофазної мережі;

$I$  – середнє протягом розрахункового періоду діюче значення сили струму ЛЕП, квадрат якого обчислюється за формулою 7.3 Методичних рекомендацій, А;

$R_{\text{ЕК}} = \sum_{m=1}^n R_{\text{Пm}} l_m$  – еквівалентний активний опір фази ЛЕП, Ом;

$R_{\text{Пm}}$  – питомий опір фази  $m$ -тої ділянки ЛЕП із однаковим перерізом проводу (кабелю), Ом/км;

$l_m$  – довжина  $m$ -тої ділянки ЛЕП із однаковим перерізом проводу (кабелю) з урахуванням його провисання, укладання «змійкою» тощо, км;

$n$  – кількість ділянок ЛЕП із однаковим перерізом проводу (кабелю);

$k_{\Phi}^2$  – коефіцієнт форми графіка навантаження ЛЕП;

$T_p$  – час роботи ЛЕП під навантаженням протягом розрахункового періоду, години.

Втрати електроенергії у кВт·год в ізоляції КЛ розраховують за формулою:

$$\Delta W_{\text{ІЗк}}^{(P)} = \sum_1^j (\Delta Q_{0j} \cdot l_{kj}) \cdot \text{tg} \delta \cdot T_H \quad (2.19)$$

де  $\Delta Q_{0j}$  – питома зарядна потужність кабелю  $j$ -го поперечного перерізу, кВАр/км;

$l_{kj}$  – сумарна довжина ділянок ЛЕП, виконаних кабелем  $j$ -го поперечного



перерізу, км;

$\operatorname{tg} \delta$  – тангенс кута діелектричних втрат;

$T_H$  – час знаходження КЛ під напругою за розрахунковий період, годин.

## **2.2 Розрахунок прогнозного виробітку та відпуску для діючої ФЕС та аналіз використання різних моделей числового прогнозу погоди для врахування впливу хмарності.**

Наведемо розрахунок прогнозу виробітку та відпуску для діючої ФЕС, що знаходиться у Кіровоградській області, з максимально допустимим погодинним значенням потужності 2025 кВт, що зображена на рисунку 2.1. ФЕС складається з трьох сегментів 900 кВт, 575 кВт та 500 кВт. Однолінійна схема електропостачання надана у додатку А.



Рисунок 2.1 - ФЕС для якої проводиться розрахунок прогнозованого виробітку та відпуску електричної енергії.

Для прикладу наведемо розрахунок для 9 годин 5 листопада 2020 року. Вихідними даними для розрахунку сумарної сонячної радіації на похилу поверхню є порядковий день року ( $n=310$ ), година доби ( $\tau = 9$  год), широта місцевості ( $\varphi = 48,71^\circ$ ), висота розміщення ФЕС над рівнем моря ( $z = 150$  м), кут

нахилу сонячних панелей ( $\beta = 30^\circ$ ), тип опорних конструкцій ФЕМ- наземні фіксовані.

Значення годинного кута  $\omega$  розраховуємо за формулою (2.1):

$$\omega = 15(12-9)=45^\circ/\text{год.},$$

Кут схилення  $\delta$  розраховуємо за формулою (2.2):

$$\delta = 23,5 \cdot \sin\left(360 \frac{284 + 310}{366}\right) = -16,4^\circ$$

Значення зенітного куту Сонця визначаємо за формулою (2.3):

$$\cos \theta_z = \cos 48,71 \cdot \cos(-16,4) \cdot \cos 45 + \sin 48,71 \cdot \sin(-16,4) = 0,235$$

$$\theta_z = 76,38^\circ$$

Масу повітря знаходимо за формулою (2.4):

$$m = \frac{1-10^{-4} \cdot 150}{0,235+0,50572 \cdot (96,07995^\circ-76,38)^{-1,6364}} = 4,116 \text{ кг},$$

Коефіцієнт атмосферної прозорості знаходимо за формулою (2.5):

$$\tau_D = 0,56 \cdot (e^{-0,65 \cdot 4,116} + e^{-0,095 \cdot 4,116}) = 0,417$$

Кількість прямого сонячного випромінювання, яке надходить на одиницю площі горизонтальної поверхні знаходимо за формулою (2.6):

$$E_{\text{пр.гор}} = 1360 \cdot 0,417 \cdot 0,235 = 133,63 \text{ Вт / м}^2.$$

Для знаходження коефіцієнту для визначення інтенсивності прямої сонячної радіації на похилу поверхню використовуємо формулу (2.7):

$$R_b = \frac{\cos(48,71-30) \cdot \cos(-16,4) \cdot \cos 45 + \sin(48,71-30) \cdot \sin(-16,4)}{\cos 48,71 \cdot \cos(-16,4) \cdot \cos 45 + \sin(48,71-30) \cdot \sin(-16,4)} = 1,545.$$

Інтенсивність прямої сонячної радіації на похилу поверхню розраховуємо за формулою (2.8):

$$E_{\text{пр.пох}} = 1,545 \cdot 133,63 = 206,657 \text{ Вт/м}^2.$$

Для визначення кількості дифузного сонячного випромінювання на одиницю площі горизонтальної поверхні використовуємо формулу (2.9):

$$E_{\text{диф.гор}} = 1360 \cdot (0,271 - 0,294 \cdot 0,417) \cdot 0,235 = 47,488 \text{ Вт/м}^2.$$

Для визначення коефіцієнту, що необхідний для розрахунку інтенсивності дифузної сонячної радіації на похилу поверхню використовуємо формулу (2.11):

$$R = 0,8 \cdot 1,545 + 0,2 \cdot \frac{1+\cos 30}{2} + \frac{(1-\cos 30) \cdot 0,2}{2} = 1,437,$$

Для визначення кількості дифузного сонячного випромінювання на одиницю площі похилої поверхні використовуємо формулу (2.10):

$$E_{\text{диф.пох}} = 1,437 \cdot 47,488 = 68,22 \text{ Вт/м}^2.$$

Для визначення інтенсивності сумарної сонячної радіації на похилу поверхню використовуємо формулу (2.12):

$$E_{\text{пох}} = 206,657 + 68,22 = 274,87 \text{ Вт/м}^2.$$

Далі розрахуємо прогнозований виробіток ФЕС для 3 сегментів для умов абсолютно ясного неба за формулою (2.13):

$$P'_{\text{ФЕС1}} = \frac{550 \cdot 274,87 \cdot 0,85}{1000} = 128,5 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$P'_{\text{ФЕС2}} = \frac{575 \cdot 274,87 \cdot 0,85}{1000} = 134,34 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$P'_{\text{ФЕС3}} = \frac{900 \cdot 274,87 \cdot 0,85}{1000} = 210,28 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Далі знайдемо коригувальний коефіцієнт для знаходження прогнозованого виробітку ФЕС з урахуванням хмарності неба. Згідно до матеріалів прогнозу [17] з використанням прогнозованої моделі ECMWF для 5 листопада 9 годин хмарність становить 97 %, NEMS-63%, GFS-30%, IKON-69%. За допомогою лінійної інтерполяції знаходимо значення  $\alpha$ . За прогнозом ECMWF  $\alpha=0,127$ , NEMS  $\alpha=0,433$ , GFS  $\alpha=0,73$ , IKON-0,379.

Тоді прогнозований виробіток ФЕС визначається за формулою (2.14):

$$P_{\text{ECMWF}(1)} = 128,5 \cdot 0,127 = 16,32 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$P_{\text{ECMWF}(2)} = 134,34 \cdot 0,127 = 17,06 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$P_{\text{ECMWF}(3)} = 210,28 \cdot 0,127 = 26,7 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$P_{\text{NEMS}(1)} = 128,5 \cdot 0,433 = 55,64 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$P_{\text{NEMS}(2)} = 134,34 \cdot 0,433 = 58,16 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$P_{\text{NEMS}(3)} = 210,28 \cdot 0,433 = 91,05 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$P_{\text{GFS}(1)} = 128,5 \cdot 0,73 = 93,81 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$P_{\text{GFS}(2)} = 134,34 \cdot 0,73 = 98,06 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$P_{\text{GFS}(3)} = 210,28 \cdot 0,73 = 153,5 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$P_{IKON(1)} = 128,5 \cdot 0,379 = 48,7 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$P_{IKON(2)} = 134,34 \cdot 0,379 = 50,91 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$P_{IKON(3)} = 210,28 \cdot 0,379 = 79,6 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Тоді сумарний прогнозований відпуск ФЕС визначається:

$$P_{ECMWF} = P_{ECMWF(1)} + P_{ECMWF(2)} + P_{ECMWF(3)} - \Delta W_{T1}^{(P)} - \Delta W_{T2}^{(P)} - \Delta W_{T2}^{(P)} - \Delta W_{KL1}^{(P)} - \Delta W_{KL2}^{(P)} - \Delta W_{KL3}^{(P)} - \Delta W_{I3K}^{(P)} - P_{en}, \quad (2.20)$$

де  $P_{en}$  - потужність власних потреб (господарські та технологічні), для даної ФЕС складає 2,74 кВт.

Втрати активної енергії у двообмотковому трансформаторі у кВт·год розраховуємо за формулою 2.15 :

$$\Delta W_{T3}^{(P)} = 3 \cdot 2,47 \cdot 0,94 \cdot 1,15 \cdot 10^{-3} \cdot 1 + 1,16 \cdot 1 = 1,16 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$\Delta W_{T2}^{(P)} = 3 \cdot 1,01 \cdot 1,91 \cdot 1,15 \cdot 10^{-3} \cdot 1 + 1,16 \cdot 1 = 1,17 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$\Delta W_{T1}^{(P)} = 3 \cdot 0,92 \cdot 1,91 \cdot 1,15 \cdot 10^{-3} \cdot 1 + 1,16 \cdot 1 = 1,16 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Квадрат середнього діючого значення сили струму в елементі електричної мережі протягом розрахункового періоду визначаємо за формулою 2.16:

$$I_{T3}^2 = \frac{26,7^2 + (26,7 \cdot \operatorname{tg}(\arccos 0,98))^2}{3 \cdot 1 \cdot 10^2} = 2,47 \text{ А}$$

$$I_{T2}^2 = \frac{17,06^2 + (17,06 \cdot \operatorname{tg}(\arccos 0,98))^2}{3 \cdot 1 \cdot 10^2} = 1,01 \text{ А}$$

$$I_{T1}^2 = \frac{16,32^2 + (16,32 \cdot \operatorname{tg}(\arccos 0,98))^2}{3 \cdot 1 \cdot 10^2} = 0,92 \text{ А}$$

Активний опір розраховуємо за формулою 2.17:

$$R_{T3} = \frac{7,6 \cdot 10^2 \cdot 10^3}{900^2} = 0,94 \text{ Ом}$$

$$R_{T2} = R_{T1} = \frac{7,6 \cdot 10^2 \cdot 10^3}{630^2} = 1,91 \text{ Ом}$$

Втрати активної енергії у кВт·год в проводах (ПЛ) або жилах кабелів (КЛ) розраховують за формулою:

$$\Delta W_{L3}^{(P)} = 3 \cdot 2,47 \cdot 0,443 \cdot 0,059 \cdot 1,15 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 0,0001 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$\Delta W_{L2}^{(P)} = 3 \cdot 6,65 \cdot 0,443 \cdot 0,073 \cdot 1,15 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 0,0005 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$\Delta W_{л1}^{(P)} = 3 \cdot 12,53 \cdot 0,443 \cdot 0,043 \cdot 1,15 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 0,001 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Квадрат середнього діючого значення сили струму в елементі електричної мережі протягом розрахункового періоду визначаємо за формулою 2.16:

$$I_{л3}^2 = \frac{26,7^2 + (26,7 \cdot \operatorname{tg}(\arccos 0,98))^2}{3 \cdot 1 \cdot 10^2} = 2,47 \text{ А}$$

$$I_{л2}^2 = \frac{43,76^2 + (43,76 \cdot \operatorname{tg}(\arccos 0,98))^2}{3 \cdot 1 \cdot 10^2} = 6,65 \text{ А}$$

$$I_{л1}^2 = \frac{60,08^2 + (60,08 \cdot \operatorname{tg}(\arccos 0,98))^2}{3 \cdot 1 \cdot 10^2} = 12,53 \text{ А}$$

Втрати електроенергії у кВт·год в ізоляції КЛ розраховують за формулою 2.19:

$$\Delta W_{ізк}^{(P)} = 13,5 \cdot 0,175 \cdot 0,016 \cdot 1 = 0,0378 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Тоді сумарний прогнозований відпуск ФЕС визначаємо за формулою 2.20:

$$P_{ЕСМWF} = 26,7 + 17,06 + 16,32 - 1,16 - 1,17 - 1,16 - 0,002 - 0,0378 - 2,74 = 53,8 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Аналогічним чином було розраховано прогнозований за моделями ЕСМWF, NEMS, GFS та IKON відпуск ФЕС для 24 годин 14 діб листопада з 1.11.2020 по 14.11.2020, результати представлені у додатку Б.

На рисунку 2.2 представлено графік фактичного та прогнозованого за моделями ЕСМWF, NEMS, GFS та IKON відпуску ФЕС за 5 листопада 2020 року. На рисунку 2.3 представлено графік фактичного та прогнозованого за моделями ЕСМWF, NEMS, GFS та IKON відпуску ФЕС за 14 діб листопада.

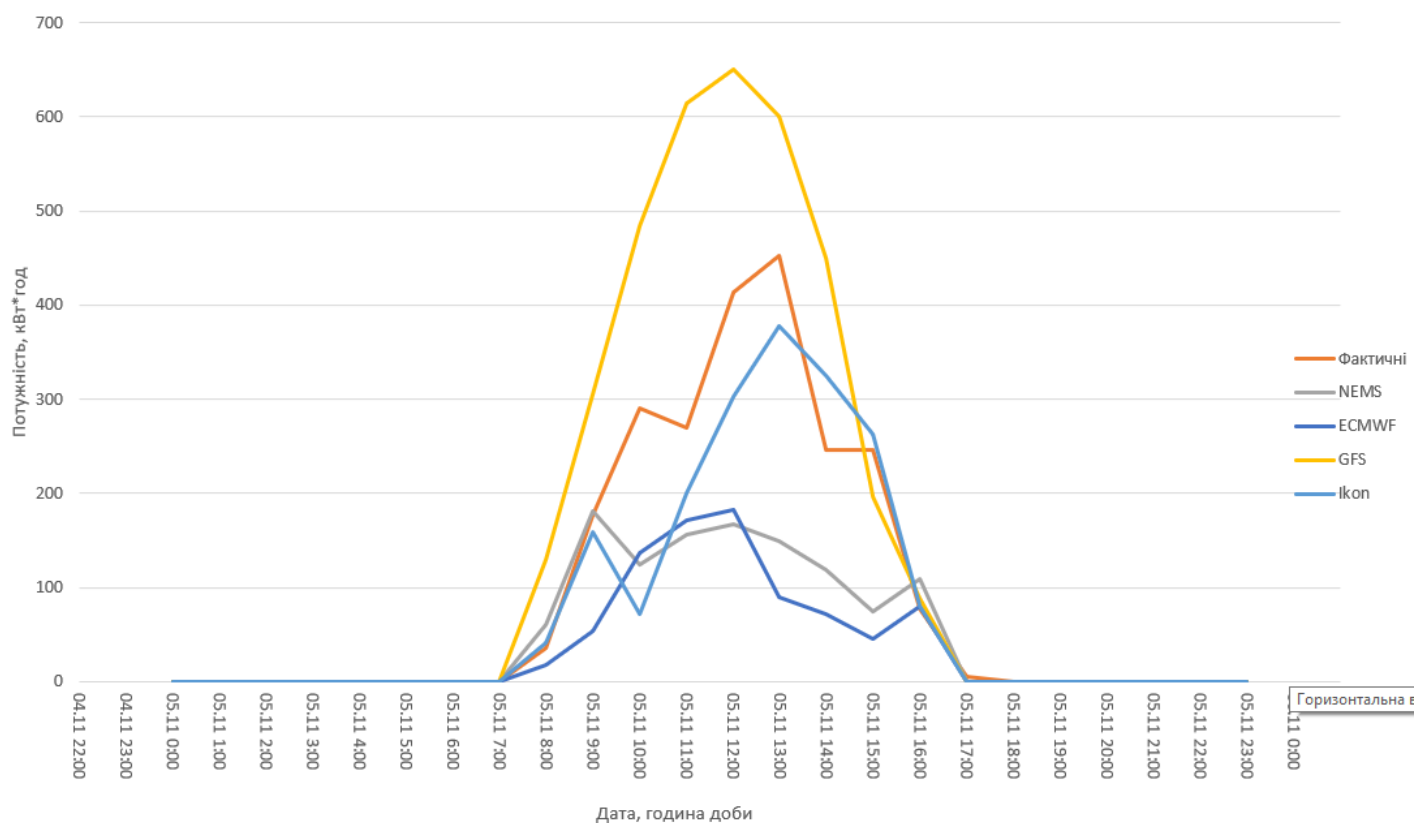


Рисунок 2.2 - Графік фактичного та прогнозного за моделями ESMWF, NEMS, GFS та IKON відпуску ФЕС за 5 листопада 2020 року.

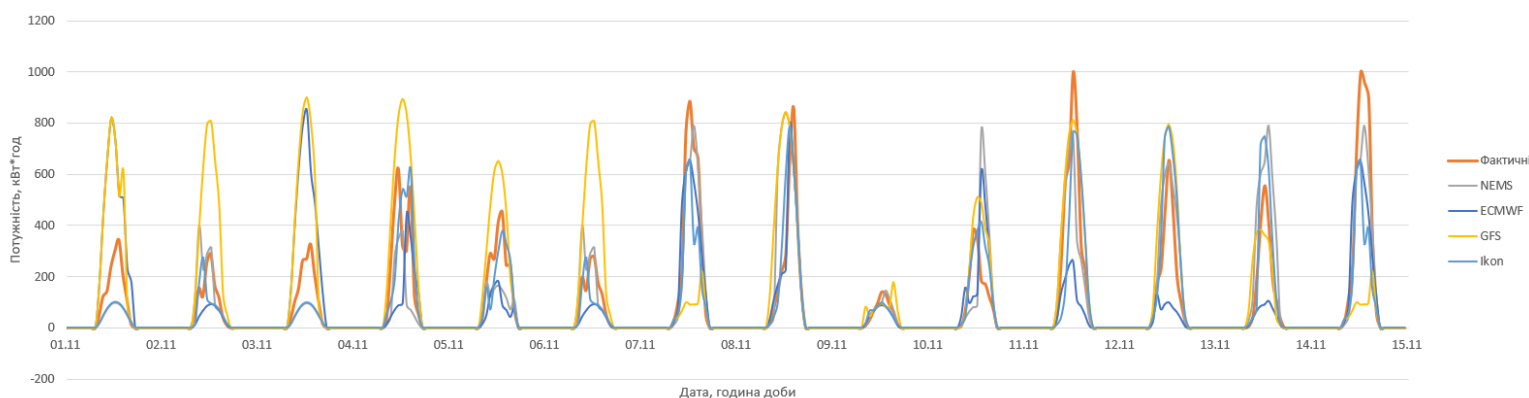


Рисунок 2.3 - Графік фактичного та прогнозного за моделями ESMWF, NEMS, GFS та IKON відпуску ФЕС за 14 днів листопада 2020 року.

Також для порівняння розрахованої прогнозованої потужності ФЕС з урахуванням прогнозу хмарності розрахованого на основі прогнозних моделей ESMWF, NEMS, GFS та IKON з фактичною було обрано розрахувати середнє

абсолютне відхилення  $MAD$ , так як  $MAPE$  та  $MPE$  не можливо обчислити, якщо будь-яке фактичне значення за період дорівнює нулю.

Середнє абсолютне відхилення  $MAD$  (Mean absolute deviation) – це метод оцінки точності прогнозу, за яким оцінюється значення середнього абсолютного відхилення між фактичним і прогнозним значеннями.

Значення середнього абсолютного відхилення  $MAD$  розраховується за формулою:

$$MAD = \frac{1}{n} \cdot \sum_{t=1}^n |P_t - \hat{P}_t|, \quad (2.21)$$

де  $\hat{P}_t$  – прогнозне значення потужності ФЕС, кВт·год;

$P_t$  – фактичне значення потужності ФЕС, кВт·год;

$t$  – період часу;

$n$  – загальна кількість значень даних.

Розрахуємо значення  $MAD$  прогнозу відпуску ФЕС розрахованого на основі прогнозної моделі IKON.

$$MAD_{IKON} = \frac{1}{336} \cdot (|0 - 0| + \dots + |45 - 20| + \dots + |0 - 0|) = 46,75 \text{ кВт·год},$$

Так само розраховуємо значення  $MAD$  прогнозу відпуску ФЕС розрахованого на основі прогнозних моделей NEMS, GFS та IKON. Результати представлені у вигляді таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Значення  $MAD$  для прогнозу відпуску ФЕС розрахованого на основі прогнозних моделей ECMWF, NEMS, GFS та IKON.

Прогнозна модель	Значення $MAD$ , кВт·год
ECMWF	67,73
NEMS	51,16
GFS	89,45
IKON	46,75

Виходячи з отриманих значень *MAD* бачимо, що за спостережуваний період найбільш точним виявився прогноз потужності ФЕС з урахуванням прогнозу хмарності розрахованого на основі прогнозової моделі IKON, тому обираємо саме її для нашого алгоритму.

## **Висновки до розділу 2**

Розроблений алгоритм прогнозування виробітку та відпуску ФЕС дозволяє підвищити точність прогнозування виробітку та відпуску ФЕС за рахунок аналізу впливу рівня хмарності визначеної за різними моделями численного прогнозу погоди, тим самим збільшує ефективність балансування ОЕС в умовах значної частки ВДЕ, забезпечуючи при цьому уточнений розрахунок необхідних резервів.

Проведений розрахунок прогнозованого відпуску ФЕС для діючої ФЕС для 14 діб листопада у 4 етапи: розрахунок сонячної радіації, що потрапляє на поверхню сонячного модуля у певну годину доби, розрахунок прогнозованого виробітку ФЕС за умов ясного неба у певну годину доби, розрахунок прогнозованого виробітку ФЕС з врахуванням впливу хмарності неба у певну годину доби, розрахунок прогнозованого відпуску ФЕС з врахуванням втрат в трансформаторі та лініях електропередачі дозволив порівняти точність прогнозу відпуску ФЕС з використанням даних хмарності від чотирьох числових моделей прогнозу погоди, а саме ECMWF, NEMS, GFS та IKON та визначити модель числового прогнозу погоди, яка за спостережуваний період забезпечує найбільш точний прогноз відпуску ФЕС, а саме модель числового прогнозу погоди IKON, яку було обрано для розробленого алгоритму.

Розроблений алгоритм також дозволить зменшити небаланси електричної енергії, за які наразі несе відповідальність ДП «Гарантований Покупець», а в майбутньому будуть нести виробники за «зеленим тарифом». Зменшення небалансів електричної енергії в свою чергу збільшить кількість коштів, отриманих від адміністратора розрахунків (НЕК «Укренерго») за електроенергію з ВДЕ, залучену для врегулювання небалансів, оскільки саме з них здійснюються вирахування зобов'язань з врегулювання небалансів балансуючої групи



виробників з ВДЕ, і це дозволить спрямовувати більше коштів на розрахунок з виробниками за «зеленим тарифом», перед якими наразі є борг.

Прогнозовані дані відпуску ФЕС, отримані за допомогою наведеного алгоритму необхідно до 9:00 за день до торгового дня надавати ДП «Гарантований Покупець», що обумовлює необхідність розв'язання завдання оперативного передавання прогнозованих даних виробітку та відпуску електроенергії ФЕС до АС ДП «Гарантований покупець» в автоматичному режимі.

## **3 РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ АСКОЕ З ФУНКЦІЄЮ ПРОГНОЗУВАННЯ ВИРОБІТКУ ТА ВІДПУСКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ФЕС**

### **3.1 Дослідження існуючої моделі АСКОЕ ФЕС**

АСКОЕ ФЕС створена як дворівнева автоматизована система із централізованим керуванням і розподіленою функцією виміру:

1. Перший рівень – ЛУЗОД (устаткування зв'язку) та засоби вимірювання (трансформатори струму, трансформатори напруги, електронні лічильники електричної енергії).
2. Другий рівень – Сервер АСКОЕ, устаткування зв'язку.

Сервер АСКОЕ в автоматичному режимі, за заданим розкладом, або по команді оператора АСКОЕ, встановлює з'єднання з лічильниками, зчитує дані і зберігає їх у СКБД як первинні (неопрацьовані) дані. По команді оператора АСКОЕ (ручний режим) збір (зчитування) даних з лічильників виконується у разі, якщо сталися порушення або перебої в роботі програмного забезпечення АСКОЕ. У випадках коли сталася відмова каналів зв'язку, що призвело до неможливості отримання даних від лічильників – інформація вводиться в ручному режимі за даними засобів телевимірювань, в разі їх відсутності – за даними, що зчитані з лічильників через дисплей або за статистичними даними.

При формуванні даних комерційного обліку електроенергії об'єкту забезпечується:

- покази лічильників знімаються з точністю не менше трьох знаків після коми;
- покази лічильників перемножуються на розрахункові коефіцієнти вимірювальних комплексів. Якщо лічильники встановлені не на межі балансової належності електричних мереж, до величини зафіксованих лічильником(ами) обсягів електроенергії додається величина втрат електроенергії, розрахована згідно з методикою втрат;
- при необхідності, отримані величину в кВт·год переводити в МВт·год з округленням до цілої величини згідно з правилами математики;
- при переході на «зимовий час» або «літній час» формування макету здійснювати у відповідності до діючого порядку в Адміністратора комерційного обліку;

- перевірка достовірності даних, а саме: відповідність фізичним та технологічним границям, врахування режимних обмежень, порівняння даних між собою, перевірку на відповідність суми погодинних даних величині добових даних.

### **3.1.1 Інформаційна взаємодія з АСКОЕ ПрАТ «Кіровоградобленерго»**

На початку кожної доби сервер АСКОЕ в автоматичному режимі формує дані комерційного обліку електроенергії в узгоджених форматах і до 01:00 години передає їх по електронній пошті на адресу ПрАТ «Кіровоградобленерго». До ПрАТ «Кіровоградобленерго» дані передаються в форматах макетів 30817, 30818 та 30917.

В період до 01-30 години доби, наступної за розрахунковою, ПрАТ «Кіровоградобленерго» отримує від АСКОЕ ФЕС покази лічильників на початок доби, часові та добові дані в форматах макетів 30817, 30818 та 30917 електронною поштою. Остаточні макети 30817, 30818 та 30917 надаються до ПрАТ «Кіровоградобленерго» до 8-00 години поточної доби. В разі виникнення розбіжностей погодження даних відбувається за телефоном, після чого персонал ФЕС до 9-30 надає скоригований макет.

01, 11, 21 числа кожного місяця персонал ФЕС та ПрАТ «Кіровоградобленерго» здійснюють звіряння обсягів перетікання електроенергії за 10 діб, 20 діб та розрахунковий місяць на підставі показів приладів обліку електричної енергії, зафіксованих на 00 годин 01, 11, 21 числа.

### **3.1.2 Інформаційна взаємодія з АСКОЕ Дніпровської ЕС НЕК «Укренерго»**

На початку кожної доби сервер АСКОЕ в автоматичному режимі повинен формувати дані комерційного обліку електроенергії в узгоджених форматах і до 01-30 години передавати їх по електронній пошті на адресу Дніпровської ЕС НЕК «Укренерго». До Дніпровської ЕС НЕК «Укренерго» дані повинні передаватися в форматі макету 30817.

В період до 01-30 години доби, наступної за розрахунковою, Дніпровська ЕС НЕК «Укренерго» повинна отримувати від АСКОЕ ФЕС часові та добові дані в форматі макету 30817 електронною поштою. Остаточний макет 30817, з

погодженими даними із ПрАТ «Кіровоградобленерго», повинен надаватися до Дніпровської ЕС НЕК «Укренерго» до 9-00 години поточної доби. В разі виникнення розбіжностей погодження даних відбувається за телефоном, після чого персонал ФЕС до 9-30 повинен надавати скоригований макет.

Макет вважається погодженим після надання даних до ІОК Адміністратора комерційного обліку.

01, 11, 21 числа кожного місяця персонал ФЕС та Дніпровської ЕС НЕК «Укренерго» повинні здійснювати звіряння обсягів перетікання електроенергії за 10, 20 діб та розрахунковий місяць на підставі показів приладів обліку електричної енергії, зафіксованих на 00 годин 01, 11, 21 числа, в Актах виробітку та відпуску електричної енергії, згідно з Інструкцією про порядок комерційного обліку електричної енергії.

### **3.1.3 Інформаційна взаємодія з ІОК АКО**

На початку кожної доби сервер АСКОЕ щодоби, автоматично, формує в автоматичному режимі дані комерційного обліку електроенергії за версією 1 і до 06:00 передає їх до інформаційно-обчислювального комплексу (ІОК) Адміністратора комерційного обліку (АКО) через мережу Internet з використанням протоколу шифрування SSL у форматі XML – файлу з використанням Application Programming Interface. Остаточний XML – файл, з погодженими даними із ПрАТ «Кіровоградобленерго», повинен надаватися ІОК АКО до 10-00 години поточної доби. .

До 24:00 12 дня наступного за розрахунковим АСКОЕ ФЕС формує в автоматичному режимі дані комерційного обліку електроенергії за версією 2 за всі дні розрахункового місяця і передає їх до інформаційно-обчислювального комплексу (ІОК) АКО через мережу Internet з використанням протоколу шифрування SSL у форматі XML – файлу з використанням Application Programming Interface.

12 числа місяця наступного за розрахунковим персонал ФЕС вивантажує з MMS данні комерційного обліку за версією 2 останнього релізу та на їх основі формують Акт про виробіток та відпуск електричної енергії.

### **3.2 Розроблення функціональної моделі АСКОЕ з функцією прогнозування виробітку та відпуску електричної енергії ФЕС**

Проте наявна функціональна модель АСКОЕ ФЕС не забезпечує оперативний обмін даними з усіма суб'єктами ринку електричної енергії. Функціональна модель АСКОЕ ФЕС забезпечує обмін даними з оператором системи розподілу (ПрАТ «Кіровоградобленерго»), оператором системи передачі (Дніпровська енергетична система НЕК «Укренерго») та АКО. Та в умовах сучасного лібералізованого ринку електричної енергії ФЕС взаємодіє також із ще одним учасником ринку ДП «Гарантований Покупець». У зв'язку з цим пропонується наведений в минулому розділі магістерської дисертації алгоритм прогнозування виробітку та відпуску електроенергії ФЕС реалізувати на базі існуючої АСКОЕ ФЕС.

На рисунку 3.1 наведено структурну схему АСКОЕ ФЕС з функцією прогнозування виробітку та відпуску електроенергії.

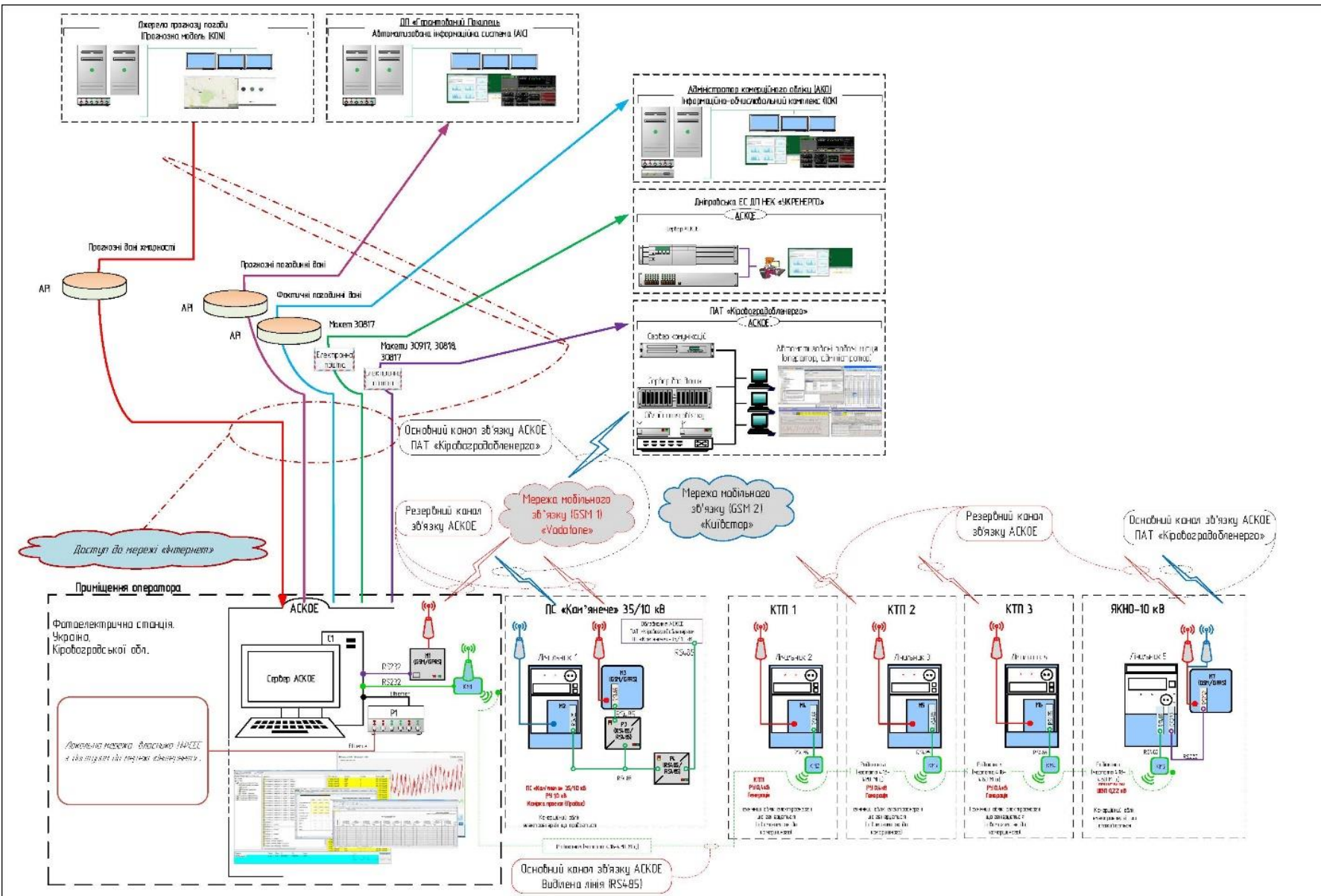


Рисунок 3.1 - Структурна схема АСКОВЕ ФЕС з функцією прогнозування виробітку та відпуску електроенергії.

Отримання прогнозних даних хмарності для заданого набору координат розташування ФЕС пропонується реалізувати з використанням API з обраного джерела прогнозних даних. Запити надсилаються до такої кінцевої точки: POST <https://api.windy.com/api/point-forecast/v2> із таким тілом:

```
{
  "lat": 48.719,
  "lon": 30.707,
  "model": "IkonEU",
  "parameters": ["clouds"],
  "key": "abcd123"
}
```

Розрахунок алгоритму прогнозування виробітку та відпуску електроенергії ФЕС пропонується реалізувати на базі програмного забезпечення АСКОВЕ ФЕС.

На даний момент згідно до «Інструкції з надання прогнозних даних» прогнозні дані завантажуються за допомогою XML-файлу підписаного КЕП або за допомогою Web – форми вручну до АІС ДП «Гарантований Покупець». Проте, ручна передача даних не забезпечує достатню оперативність. Тож пропонується організувати передачу даних до АІС ДП «Гарантований Покупець» за допомогою API. Автоматична передача даних забезпечить також можливість цілодобової роботи програми в автоматичному режимі, що не вимагає постійного втручання обслуговуючого персоналу, що зменшує затрати на утримання системи та забезпечує відсутність людського фактору.

### **Висновки до розділу 3**

Розроблена модель АСКОВЕ з функцією прогнозування виробітку та відпуску ФЕС дозволить забезпечувати повне супроводження ФЕС у лібералізованому ринку електричної енергії і оперативну взаємодію з усіма суб'єктами ринку, з якими наразі взаємодіє ФЕС. Також, розроблена функціональна модель АСКОВЕ ФЕС забезпечує автоматичну передачу даних, що не вимагає постійного втручання обслуговуючого персоналу, що зменшує затрати на утримання системи та забезпечує відсутність людського фактору.

## 4 СТАРТАП-ПРОЕКТ

В Україні з 2021 року згідно з Законом України «Про ринок електричної енергії» набувають чинності штрафи за небаланси з вироблення електроенергії сонячними електростанціями. В зв'язку з цим актуалізується проблема прогнозування генерації і питання мінімізації штрафів за неточність такого прогнозування. Прогнозування стає вирішальним інструментом для економічно ефективної інтеграції ресурсів змінної відновлюваної енергії (variable renewable energy, VRE), таких як вітер і сонячна енергія, в локальні, регіональні і національні енергосистеми.

### Опис ідеї проекту

Ідея проекту полягає в розробленні програмного продукту на базі АСКОЕ, що забезпечує прогнозування виробітку та відпуску електричної енергії ФЕС та оперативну передачу даних прогнозованого виробітку та відпуску ФЕС до ДП «Гарантований Покупець».

Використання споживачами даного продукту передбачає більш точне прогнозування виробітку та відпуску ФЕС та оперативну передачу даних прогнозованого відпуску ФЕС суміжним учасникам ринку електричної енергії.

Більш детальний опис показано в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Зміст ідеї проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розроблення програмного продукту на базі АСКОЕ, що забезпечує прогнозування відпуску електричної енергії сонячних фотоелектричних станцій оперативну передачу даних прогнозованого відпуску ФЕС до ДП «Гарантований Покупець»	Організація АСКОЕ з функцією прогнозування відпуску електричної енергії на сонячних фотоелектричних станціях	Фінансовий розвиток; Можливість більш точного прогнозування відпуску електричної енергії.



В таблиці 4.2 наведено співставний аналіз мого продукту із продуктом-аналогом, а також проведено аналіз сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту.

Таблиця 4.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Техніко-економічні характеристики ідеї	Потенційні концепції конкурентів		W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
	Мій проект	Конкурент			
Комплексність	1	2	2		1
Оперативність	1	2	2		1
Сучасність	1	2			1,2
Безпека та надійність	1	2		2	1
Вартість	1	2		2	1

Аналіз показав, що в порівнянні з найближчим продуктом-конкурентом, даний продукт має повну домінацію у заданому напрямку.

Аналіз переваг та недоліків проекту наведений таблиці 4.3

Таблиця 4.3 – Переваги та недоліки проекту

Переваги	Недоліки
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Можливість заробляти на після продажному обслуговуванні</li> <li>• Постійне збільшення частки сонячних фотоелектричних станцій в ОЕС України</li> <li>• Модний та актуальний напрям розвитку бізнесу</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Складне політичне становище в країні</li> <li>• Складне економічне становище в країні <ul style="list-style-type: none"> <li>• Поява більш уніфікованих функціональних моделей АСКОЕ</li> </ul> </li> </ul>

### Технологічний аудит проекту

У таблиці 4.4 представлено технологічний аудит проекту.

Таблиця 4.4 – Технологічний аудит ідеї проекту

№	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Розрахунок прогнозування виробітку та відпуску ФЕС	Програмний продукт для АСКОВЕ LG Smart Energy	наявна	доступна
2	Отримання прогнозних даних хмарності від джерела погоди	API	наявна	доступна
3	Передача даних ДП «Гарантований Покупець»	API	немає	недоступна
		Ручний режим	наявна	доступна

Отже, дві технології з трьох та їх доступність вже на даний момент передбачують можливість створення програмного забезпечення. Проте наразі дані передаються до ДП «Гарантований Покупець» в ручному режимі, тому до моменту організації автоматичної передачі даних ДП «Гарантований покупець», наявна можливість додавання функції створення XML-файлу в автоматичному режимі та передача його до ДП «Гарантований Покупець» в ручному режимі.

#### **Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту**

В таблиці 4.5 проведено аналіз попиту потенційного ринку стартап-проекту.

Таблиця 4.5 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

Показники стану ринку	Характеристика
Кількість головних гравців, од	0
Динаміка ринку	зростає
Наявність обмежень на ринку	відсутні
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні, тому що використана за ідею модифікація існуючих АСКОВЕ

Ринок є привабливим для входження, оскільки він перебуває на етапі розвитку. Також в зв'язку з переходом до нової моделі ринку даний продукт обіцяє бути актуальним та рентабельним.

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту наведена в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Необхідність зниження витрат на покриття штрафів за небаланси з вироблення електроенергії	Підприємства, що являються виробниками електричної енергії за «зеленим тарифом» (а саме ФЕС)	Прагнення зекономити на перевитратах, що пов'язані із штрафами за небаланси з вироблення електроенергії	Точність прогнозування виробітку та відпуску електроенергії та оперативне керування наданими прогнозними даними

Проведений аналіз ринкового середовища ( факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають) показано в таблицях 4.7-4.8

Таблиця 4.7- Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція
Недосягнення прогнозованих результатів	Наявність похибки	Проведення додаткових розрахунків; можливість застосування іншого методу
Складне економічне та політичне становище в країні	Брак коштів щодо реалізації	Зниження попиту на даний проект

Таблиця 4.8 - Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція
Новизна	Застосування більш точних методів прогнозування виробітку та відпуску	Зростання зацікавленості до даного продукту
Вдосконалення моделей	Застосування нових методів та технічних заходів	
Надійність системи	Забезпечує досить точне прогнозування виробітку та відпуску	

З аналізу факторів можливостей та загроз робимо висновок, що реально погрозуючими факторами може стати лише недосягнення прогнозованих результатів що закріпилися на ринку. Щодо можливостей – то постійна підтримка проекту зумовить зростання попиту на даний проект.

В таблиці 4.9 представлено SWOT- аналіз впровадження проекту.

Таблиця 4.9 - SWOT- аналіз впровадження проекту.

S (сильні сторони)	W (слабкі сторони)
проект не має рівносильних аналогів можливість постійної підтримки проекту (зростання бази клієнтів) якість продукту (відповідність очікуванням)	Дороге програмне забезпечення для АСКОЕ Взаємодія тільки з відносно новим обладнанням
O (можливості)	T (загрози)
Збільшення зацікавлених у проекті Індивідуальне замовлення	Поява більш уніфікованих функціональних моделей АСКОЕ Складне економічне становище в країні Складне політичне становище в країні

### Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів представлено в таблиці 4.10

Таблиця 4.10 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

Цільові групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів прийняти продукт	Орієнтований попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
Підприємства, що являються виробниками електричної енергії за «зеленим тарифом» (а саме ФЕС)	Повна готовність	Високий	Слабка	Просто

Виходячи з даного аналізу, було прийнято рішення обрання стратегії розвитку : заняття конкурентної ніші. При прийнятті стратегії зайняття конкурентної ніші (інші назви – стратегія фахівця або нішера) компанія в якості цільового ринку вибирає один або декілька ринкових сегментів. Ця конкурентна стратегія являється похідною від такої базової стратегії компанії, як концентрація. Ніша, для того, щоб вона була привабливою для компанії, повинна задовольняти таким умовам:

- бути досить прибутковою, щоб робити доцільним процес виробництва і обслуговування;
- залишатися стабільною упродовж тривалого проміжку часу;
- має бути добре захищеною, мати високі входні бар'єри;
- бути непривабливою для конкурентів;
- відповідати цілям і ресурсам компанії, її специфічним можливостям.

Головне завдання для компаній, що вибирають стратегію нішера або фахівця, – це постійна турбота про підтримку і розвиток своєї конкурентної переваги, формування лояльності і прихильності споживачів, підтримка входних бар'єрів.

#### **Розроблення маркетингової програми стартап-проекту**

Ключові переваги концепції потенційного товару зазначені в таблиці 4.11

Таблиця 4.11 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі, або такі, що потрібно створити)
Повнота та надійність наданих даних	Просте та зрозуміле надання інформації, що до споживання та генерації електричної енергії	Індивідуальний підхід до клієнтів
Наявність гарантійного обслуговування	Можливість придбати гарантію	Широке обслуговування
Підтримка та оновлення	Створення і оновлення функцій, розширення можливостей	Постійне надходження нових пропозицій до клієнтів

Концепція маркетингової комунікації показана в таблиці 4.12

Таблиця 4.12 – Концепція маркетингової комунікації

Цільові групи	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Зовнішні обставини спонукають споживача до пошуку рішення	SMM, Реклама, Інтернет	Точність; Надійність; Повнота інформації.	Зацікавити клієнтів	Зручність, надійність, достовірність, Оперативність.
Зацікавленість в продукції	Інтернет, виставки на дану тематику			

#### **Висновки до розділу 4**

В зв'язку набуттям чинності штрафів за небаланси з вироблення електроенергії сонячними електростанціям актуалізується проблема прогнозування генерації і питання мінімізації штрафів за неточність такого прогнозування. У зв'язку з цим даний продукт має попит та не має рівносильних аналогів на ринку.

Бар'єром до впровадження даного проекту може бути недосягнення прогнозованих результатів, проте даний фактор можна усунути здійснивши додаткові розрахунки.

Подальший розвиток даного проекту (підтримка та оновлення) дозволить залишатися конкурентноздатним та актуальним проектом на ринку даної продукції.

## ВИСНОВКИ

1. Сьогодні відбувається стрімке зростання частки ВДЕ у структурі виробничих потужностей України, що має ряд негативних наслідків, таких як збільшення потреби в резервах на балансування режимів ОЕС України, що в свою чергу призводить до скорочення пропозиції і підвищення цін в організованих сегментах ринку, так і до збільшення тарифу оператора системи передачі. Також ДП «Гарантований Покупець» є одним з найбільш активних продавців за обсягами продажу на ринку «на добу наперед» та внутрішньодобовому ринку, що означає, що окрім впливу на ефективність балансування ОЕС в умовах значної частки ВДЕ, точність прогнозування відпуску ВДЕ впливає і на обсяги участі ДП «Гарантований Покупець» на ринку "на добу наперед" та внутрішньодобовому ринку. У зв'язку з цим розробка нових та вдосконалення існуючих методів та засобів для поліпшення якості прогнозування обсягів відпуску електроенергії станціями на базі ВДЕ відноситься до найбільш актуальних науково-практичних задач. Дослідивши лібералізовані ринки електричної енергії Австралії та Німеччини можна зробити висновок що, найбільш точним та результативним є самопрогнозування ВДЕ. А найбільшим стимулом для точного самопрогнозування ВДЕ є покладення відповідальності за небаланси на власників електростанцій, що виробляють електроенергію з ВДЕ.

2. Розроблений алгоритм прогнозування виробітку та відпуску ФЕС дозволяє підвищити точність прогнозування виробітку та відпуску ФЕС за рахунок аналізу впливу рівня хмарності визначеної за різними моделями численного прогнозу погоди, тим самим збільшує ефективність балансування ОЕС в умовах значної частки ВДЕ, забезпечуючи чіткий розрахунок необхідних резервів. Проведений розрахунок прогнозованого виробітку та відпуску ФЕС для діючої ФЕС для 14 діб листопада дозволив порівняти точність прогнозу відпуску ФЕС з використанням даних хмарності від чотирьох числових моделей прогнозу погоди, а саме ECMWF, NEMS, GFS та IKON і визначити модель числового прогнозу погоди, яка за спостережуваний період забезпечує найбільш точний



прогноз відпуску ФЕС, а саме модель числового прогнозу погоди IKON, яку було обрано для нашого алгоритму. Даний алгоритм також дозволить зменшити небаланси електричної енергії, за які наразі несе відповідальність ДП «Гарантований Покупець», а в майбутньому будуть нести виробники за «зеленим тарифом». Зменшення небалансів електричної енергії в свою чергу збільшить кількість коштів отриманих від адміністратора розрахунків (НЕК «Укренерго») за електроенергію з ВДЕ, залучену для врегулювання небалансів, так як саме з них відбувається вирахування зобов'язань з врегулювання небалансів балансуєної групи виробників з ВДЕ і це дозволить більше коштів спрямовувати на розрахунок з виробниками за «зеленим тарифом», перед якими наразі є борг.

3. Розроблена модель АСКОЕ з функцією прогнозування виробітку та відпуску ФЕС дозволить забезпечувати повне супроводження ФЕС у лібералізованому ринку електричної енергії і оперативну взаємодію з усіма суб'єктами ринку з якими наразі взаємодіє ФЕС. Також, розроблена функціональна модель АСКОЕ ФЕС забезпечує автоматичну передачу даних, що не вимагає постійного втручання обслуговуючого персоналу, що зменшує затрати на утримання системи та забезпечує відсутність людського фактору.

4. Розроблений стартап-проект дозволить створити програмний засіб на базі АСКОЕ з функцією прогнозування виробітку та відпуску електричної енергії ФЕС та оперативним обміном даними з суміжними об'єктами ринку електричної енергії. Даний продукт має попит та не має рівносильних аналогів на ринку так як у зв'язку набуттям чинності штрафів за небаланси з вироблення електроенергії сонячними електростанціям актуалізується проблема прогнозування генерації і питання мінімізації штрафів за неточність такого прогнозування. Бар'єром до впровадження даного проекту може бути недосягнення прогнозованих результатів, проте даний фактор можна усунути здійснивши додаткові розрахунки. Подальший розвиток даного проекту (підтримка та оновлення) дозволить залишатися конкурентноздатним та актуальним проектом на ринку даної продукції.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Загородній А. Г. Фінансово-економічний словник [Електронний ресурс] / А. Г. Загородній – Режим доступу до ресурсу: <http://cyclop.com.ua/content/view/1568/1/1/41/>.
2. Financial Times ft.com/lexicon [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://lexicon.ft.com/Term?term=energy-liberalisation>.
3. Секретариат Энергетической Хартии Воздействие либерализации рынка на политику и программы в области энергоэффективности. Режим доступу: [https://www.energycharter.org/fileadmin/DocumentsMedia/Thematic/Liberalisation\\_and\\_Energy\\_Efficiency\\_2002\\_ru.pdf](https://www.energycharter.org/fileadmin/DocumentsMedia/Thematic/Liberalisation_and_Energy_Efficiency_2002_ru.pdf)
4. PricewaterhouseCoopers AG Electricity Market Reform in Germany Режим доступу: <https://www.pwc.com/jp/ja/japan-service/electricity-system-reform/assets/pdf/energy-market-in-germany-e1406.pdf>
5. Бохонко І. В. Особливості формування ринку електроенергії України на конкурентних засадах/ І. В. Бохонко // Науковий вісник Ужгородського національного університету. – 2015. - №3. – С.33-37
6. Джигун О.М., Саух С.Є. Особливості нової моделі енергоринку України / О.М. Джигун, С.Є. Саух//
7. Постанова НКРЕКП «Про затвердження Правил ринку «на добу наперед» та внутрішньодобового ринку» від 14.03.2018 № 308. Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0308874-18>
8. Постанова НКРЕКП «Про затвердження Правил ринку «на добу наперед» та внутрішньодобового ринку» від 14.03.2018 № 308. Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0308874-18>
9. Overview of European Electricity Markets. METIS Technical Notes February 2016. Режим доступу: [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/metis\\_technical\\_note\\_t4\\_-\\_overview\\_of\\_european\\_electricity\\_market.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/metis_technical_note_t4_-_overview_of_european_electricity_market.pdf)

10. Prozorro. Публічні закупівлі. Режим доступу:  
<https://prozorro.gov.ua/tender/UA-2018-08-08-000850-c>
11. Trayport. Режим доступу:  
<https://www.trayport.com/uk/markets2/market-matrix/?&power=1&naturalgas=0&renewables=0&emissions=0&coal=0&ironore=0&freight=0>
12. C.Voyant, M.Muselli at al. Hybrid methodology for hourly global radiation forecasting in Mediterranean area. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1211/1211.2378>.
13. Дудюк Д.Л. Нетрадиційна енергетика: основи теорії та задачі [Текст] : навч. Посіб. /Д.Л. Дудюк, С.С. Мазепа, Я.М. Гнатишин. – Львів : Магнолія 2006, 2008. – 188 с.
14. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір «Модель визначення вихідної потужності сонячної електростанції з урахуванням метеорологічних і географічних факторів» / А.Ф. Жаркін, В.А. Попов, О.С. Ярмолук. – № 52666 ; заявл. 21.10.2013 ; зареєстр. 19.12.2013.
15. Nemes C. Potential solar irradiance assessment based on a digital elevation model [Текст] / C. Nemes, F. Munteanu // Advances in Electrical and Computer Engineering. – 2011. – V. 11. – № 4. – Р. 89–92.
16. Солнечная энергетика: науч. пособ. Для ВУЗов / В.И. Виссарионов, Г.В. Дерюгина, В.А. Кузнецова, Н.К. Малинин ; под ред. В.И. Виссарионова. – М. : Издательский дом МЕІ. – 2008. – 317 с.
17. Сайт прогнозу.- Режим доступу : <https://www.windy.com/>
18. Guide on forecast models all around the world – Режим доступу : <https://windy.app/blog/what-is-a-weather-forecast-model-guide-on-forecast-models-all-around-the-world.html>

## Додаток А

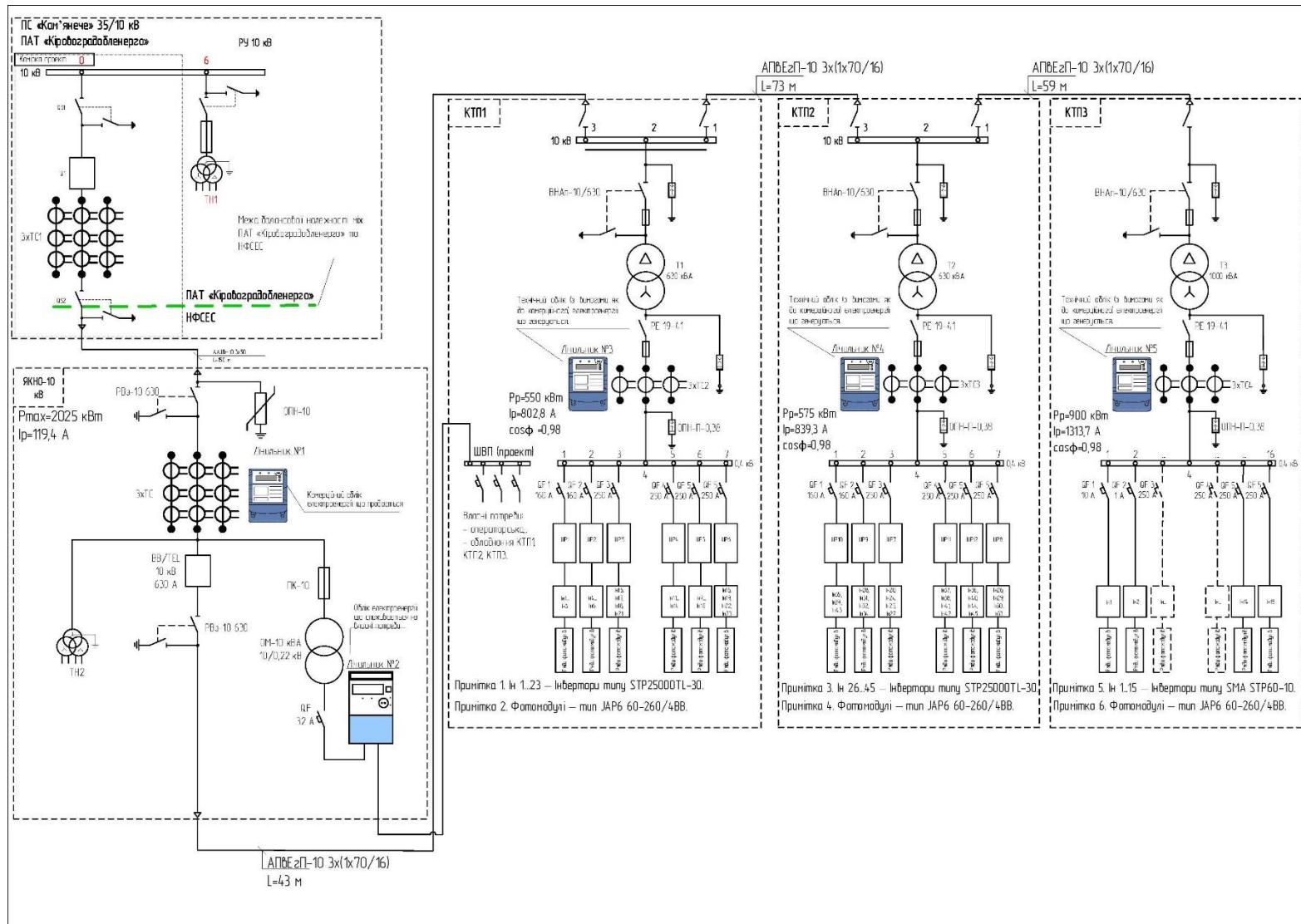


Рисунок А1 – Однолінійна схема електропостачання об'єкту

## Додаток Б

Таблица Б1

Дата та година доби	Прогноз за ECMWF	Прогноз за NEMS	Прогноз за GFS	Прогноз за IKON
01.11 0:00	0	0	0	0
01.11 1:00	0	0	0	0
01.11 2:00	0	0	0	0
01.11 3:00	0	0	0	0
01.11 4:00	0	0	0	0
01.11 5:00	0	0	0	0
01.11 6:00	0	0	0	0
01.11 7:00	0	0	0	0
01.11 8:00	177	20	177	20
01.11 9:00	449	50	449	50
01.11 10:00	664	77	664	77
01.11 11:00	820	94	820	94
01.11 12:00	733	101	733	101
01.11 13:00	516	94	516	94
01.11 14:00	506	77	614	77
01.11 15:00	235	50	87	50
01.11 16:00	181	20	27	20
01.11 17:00	0	0	0	0
01.11 18:00	0	0	0	0
01.11 19:00	0	0	0	0
01.11 20:00	0	0	0	0
01.11 21:00	0	0	0	0
01.11 22:00	0	0	0	0
01.11 23:00	0	0	0	0
02.11 0:00	0	0	0	0
02.11 1:00	0	0	0	0
02.11 2:00	0	0	0	0
02.11 3:00	0	0	0	0

## Продовження таблиці Б1

02.11 4:00	0	0	0	0
02.11 5:00	0	0	0	0
02.11 6:00	0	0	0	0
02.11 7:00	0	0	0	0
02.11 8:00	15,8	133,97	131,56	14,6
02.11 9:00	47,23	400,29	393,09	176,93
02.11 10:00	70,22	232,56	626,8	273,16
02.11 11:00	88,32	292,49	795,65	110,19
02.11 12:00	94,68	313,57	806,08	94,68
02.11 13:00	88,315	88,315	649,8	88,315
02.11 14:00	70,221	70,221	481,88	70,221
02.11 15:00	43,66	43,66	130,096	43,66
02.11 16:00	14,6	14,6	53,19	14,6
02.11 17:00	0	0	0	0
02.11 18:00	0	0	0	0
02.11 19:00	0	0	0	0
02.11 20:00	0	0	0	0
02.11 21:00	0	0	0	0
02.11 22:00	0	0	0	0
02.11 23:00	0	0	0	0
03.11 0:00	0	0	0	0
03.11 1:00	0	0	0	0
03.11 2:00	0	0	0	0
03.11 3:00	0	0	0	0
03.11 4:00	0	0	0	0
03.11 5:00	0	0	0	0
03.11 6:00	0	0	0	0
03.11 7:00	0	0	0	0
03.11 8:00	150	17	145	17
03.11 9:00	414	47	430	47
03.11 10:00	636	74	673	74
03.11 11:00	794	92	847	92

## Продовження таблиці Б1

03.11 12:00	849	99	898	99
03.11 13:00	611	92	802	92
03.11 14:00	489	74	593	74
03.11 15:00	310	47	82	47
03.11 16:00	132	23	24	17
03.11 17:00	0	0	0	0
03.11 18:00	0	0	0	0
03.11 19:00	0	0	0	0
03.11 20:00	0	0	0	0
03.11 21:00	0	0	0	0
03.11 22:00	0	0	0	0
03.11 23:00	0	0	0	0
04.11 0:00	0	0	0	0
04.11 1:00	0	0	0	0
04.11 2:00	0	0	0	0
04.11 3:00	0	0	0	0
04.11 4:00	0	0	0	0
04.11 5:00	0	0	0	0
04.11 6:00	0	0	0	0
04.11 7:00	0	0	0	0
04.11 8:00	16	16	149	54
04.11 9:00	46	46	420	102
04.11 10:00	73	283	667	187
04.11 11:00	91	354	835	422
04.11 12:00	97	379	894	540
04.11 13:00	444	91	835	514
04.11 14:00	355	73	667	619
04.11 15:00	223	46	420	243
04.11 16:00	136	18	149	52
04.11 17:00	0	0	0	0
04.11 18:00	0	0	0	0
04.11 19:00	0	0	0	0

## Продовження таблиці Б1

04.11 20:00	0	0	0	0
04.11 21:00	0	0	0	0
04.11 22:00	0	0	0	0
04.11 23:00	0	0	0	0
05.11 0:00	0	0	0	0
05.11 1:00	0	0	0	0
05.11 2:00	0	0	0	0
05.11 3:00	0	0	0	0
05.11 4:00	0	0	0	0
05.11 5:00	0	0	0	0
05.11 6:00	0	0	0	0
05.11 7:00	0	0	0	0
05.11 8:00	18	61	130	41
05.11 9:00	54	181	305	158
05.11 10:00	136	125	484	71
05.11 11:00	171	156	615	201
05.11 12:00	183	167	651	302
05.11 13:00	90	149	600	378
05.11 14:00	71	119	449	325
05.11 15:00	45	74	196	262
05.11 16:00	80	109	88	80
05.11 17:00	0	0	0	0
05.11 18:00	0	0	0	0
05.11 19:00	0	0	0	0
05.11 20:00	0	0	0	0
05.11 21:00	0	0	0	0
05.11 22:00	0	0	0	0
05.11 23:00	0	0	0	0
06.11 0:00	0	0	0	0
06.11 1:00	0	0	0	0
06.11 2:00	0	0	0	0
06.11 3:00	0	0	0	0



## Продовження таблиці Б1

06.11 4:00	0	0	0	0
06.11 5:00	0	0	0	0
06.11 6:00	0	0	0	0
06.11 7:00	0	0	0	0
06.11 8:00	15,8	133,97	131,56	14,6
06.11 9:00	47,23	400,29	393,09	176,93
06.11 10:00	70,22	232,56	626,8	273,16
06.11 11:00	88,32	292,49	795,65	110,19
06.11 12:00	94,68	313,57	806,08	94,68
06.11 13:00	88,315	88,315	649,8	88,315
06.11 14:00	70,221	70,221	481,88	70,221
06.11 15:00	43,66	43,66	130,096	43,66
06.11 16:00	14,6	14,6	53,19	14,6
06.11 17:00	0	0	0	0
06.11 18:00	0	0	0	0
06.11 19:00	0	0	0	0
06.11 20:00	0	0	0	0
06.11 21:00	0	0	0	0
06.11 22:00	0	0	0	0
06.11 23:00	0	0	0	0
07.11 0:00	0	0	0	0
07.11 1:00	0	0	0	0
07.11 2:00	0	0	0	0
07.11 3:00	0	0	0	0
07.11 4:00	0	0	0	0
07.11 5:00	0	0	0	0
07.11 6:00	0	0	0	0
07.11 7:00	0	0	0	0
07.11 8:00	26,89	14,73	36,62	32,97
07.11 9:00	79,51	43,55	43,55	54,34
07.11 10:00	488,06	178,4	69,44	178,4
07.11 11:00	611,06	611,06	101,31	611,06

## Продовження таблиці Б1

07.11 12:00	654,22	654,22	93,09	654,22
07.11 13:00	567,99	790,51	94,13	331,06
07.11 14:00	453,65	631,2	98,21	390,5
07.11 15:00	284,49	395,98	223,36	155,03
07.11 16:00	127,84	135,14	76,76	77,97
07.11 17:00	0	0	0	0
07.11 18:00	0	0	0	0
07.11 19:00	0	0	0	0
07.11 20:00	0	0	0	0
07.11 21:00	0	0	0	0
07.11 22:00	0	0	0	0
07.11 23:00	0	0	0	0
08.11 0:00	0	0	0	0
08.11 1:00	0	0	0	0
08.11 2:00	0	0	0	0
08.11 3:00	0	0	0	0
08.11 4:00	0	0	0	0
08.11 5:00	0	0	0	0
08.11 6:00	0	0	0	0
08.11 7:00	0	0	0	0
08.11 8:00	37,07	13,98	128,27	13,98
08.11 9:00	112,89	42,58	390,651	42,58
08.11 10:00	169,9	626,94	626,94	96,55
08.11 11:00	213,23	786,85	786,85	312,38
08.11 12:00	228,45	842,92	842,92	600,21
08.11 13:00	786,85	786,85	786,85	786,85
08.11 14:00	626,94	626,94	626,94	626,94
08.11 15:00	390,65	390,65	390,65	390,65
08.11 16:00	128,27	128,27	128,27	128,27
08.11 17:00	0	0	0	0
08.11 18:00	0	0	0	0
08.11 19:00	0	0	0	0

## Продовження таблиці Б1

08.11 20:00	0	0	0	0
08.11 21:00	0	0	0	0
08.11 22:00	0	0	0	0
08.11 23:00	0	0	0	0
09.11 0:00	0	0	0	0
09.11 1:00	0	0	0	0
09.11 2:00	0	0	0	0
09.11 3:00	0	0	0	0
09.11 4:00	0	0	0	0
09.11 5:00	0	0	0	0
09.11 6:00	0	0	0	0
09.11 7:00	0	0	0	0
09.11 8:00	16,53	13,25	83,29	16,54
09.11 9:00	51,94	41,62	48,5	65,68
09.11 10:00	67,24	67,24	72,79	67,24
09.11 11:00	84,6	84,06	84,6	84,6
09.11 12:00	90,69	98,19	98,19	98,19
09.11 13:00	84,6	147,47	84,6	84,6
09.11 14:00	67,24	117,21	83,9	67,24
09.11 15:00	41,63	72,56	179,12	41,63
09.11 16:00	13,25	13,25	75,63	12,16
09.11 17:00	0	0	0	0
09.11 18:00	0	0	0	0
09.11 19:00	0	0	0	0
09.11 20:00	0	0	0	0
09.11 21:00	0	0	0	0
09.11 22:00	0	0	0	0
09.11 23:00	0	0	0	0
10.11 0:00	0	0	0	0
10.11 1:00	0	0	0	0
10.11 2:00	0	0	0	0
10.11 3:00	0	0	0	0

## Продовження таблиці Б1

10.11 4:00	0	0	0	0
10.11 5:00	0	0	0	0
10.11 6:00	0	0	0	0
10.11 7:00	0	0	0	0
10.11 8:00	48,8	12,54	12,54	12,54
10.11 9:00	158,3	40,69	50,77	40,69
10.11 10:00	98,96	66,17	230,09	202,77
10.11 11:00	124,8	83,46	434,9	317,75
10.11 12:00	133,88	89,5	510,9	377,84
10.11 13:00	607,18	765,68	490,03	414,23
10.11 14:00	481,44	607,11	388,55	317,52
10.11 15:00	296,08	373,36	326,32	242,31
10.11 16:00	91,28	115,3	107,6	97,49
10.11 17:00	0	0	0	0
10.11 18:00	0	0	0	0
10.11 19:00	0	0	0	0
10.11 20:00	0	0	0	0
10.11 21:00	0	0	0	0
10.11 22:00	0	0	0	0
10.11 23:00	0	0	0	0
11.11 0:00	0	0	0	0
11.11 1:00	0	0	0	0
11.11 2:00	0	0	0	0
11.11 3:00	0	0	0	0
11.11 4:00	0	0	0	0
11.11 5:00	0	0	0	0
11.11 6:00	0	0	0	0
11.11 7:00	0	0	0	0
11.11 8:00	41,23	108,8	108,8	11,86
11.11 9:00	138,33	365,01	365,01	39,78
11.11 10:00	194,19	554,48	597,5	135,03
11.11 11:00	245,5	701,01	755,39	422,27

## Продовження таблиці Б1

11.11 12:00	263,54	752,51	810,9	767,11
11.11 13:00	109,53	340,68	755,39	755,39
11.11 14:00	86,63	269,47	597,5	597,5
11.11 15:00	52,92	164,61	365,01	365,01
11.11 16:00	12,84	47,11	108,8	108,8
11.11 17:00	0	0	0	0
11.11 18:00	0	0	0	0
11.11 19:00	0	0	0	0
11.11 20:00	0	0	0	0
11.11 21:00	0	0	0	0
11.11 22:00	0	0	0	0
11.11 23:00	0	0	0	0
12.11 0:00	0	0	0	0
12.11 1:00	0	0	0	0
12.11 2:00	0	0	0	0
12.11 3:00	0	0	0	0
12.11 4:00	0	0	0	0
12.11 5:00	0	0	0	0
12.11 6:00	0	0	0	0
12.11 7:00	0	0	0	0
12.11 8:00	26,9	49,09	79,59	38,01
12.11 9:00	132,03	170,57	356,84	115,97
12.11 10:00	74,68	471,64	588,08	328,74
12.11 11:00	94,65	597,74	745,32	745,32
12.11 12:00	101,69	642,09	793,4	786,2
12.11 13:00	81,24	557,5	731,9	678,24
12.11 14:00	64,1	439,89	551,04	508,69
12.11 15:00	38,89	266,91	250,86	241,22
12.11 16:00	11,19	11,19	61,1	53,71
12.11 17:00	0	0	0	0
12.11 18:00	0	0	0	0
12.11 19:00	0	0	0	0

## Продовження таблиці Б1

12.11 20:00	0	0	0	0
12.11 21:00	0	0	0	0
12.11 22:00	0	0	0	0
12.11 23:00	0	0	0	0
13.11 0:00	0	0	0	0
13.11 1:00	0	0	0	0
13.11 2:00	0	0	0	0
13.11 3:00	0	0	0	0
13.11 4:00	0	0	0	0
13.11 5:00	0	0	0	0
13.11 6:00	0	0	0	0
13.11 7:00	0	0	0	0
13.11 8:00	10,55	30,59	68,05	10,55
13.11 9:00	38,02	110,2	264,09	38,02
13.11 10:00	68,3	474,68	370,48	73,52
13.11 11:00	86,78	603,07	384,64	715,6
13.11 12:00	93,28	648,24	363,65	747,85
13.11 13:00	107,51	790,54	342,31	626,9
13.11 14:00	78,72	578,88	224,6	334,02
13.11 15:00	47,44	348,87	38,02	107,1
13.11 16:00	15,77	12,29	11,42	10,55
13.11 17:00	0	0	0	0
13.11 18:00	0	0	0	0
13.11 19:00	0	0	0	0
13.11 20:00	0	0	0	0
13.11 21:00	0	0	0	0
13.11 22:00	0	0	0	0
13.11 23:00	0	0	0	0
14.11 0:00	0	0	0	0
14.11 1:00	0	0	0	0
14.11 2:00	0	0	0	0
14.11 3:00	0	0	0	0

## Продовження таблиці Б1

14.11 4:00	0	0	0	0
14.11 5:00	0	0	0	0
14.11 6:00	0	0	0	0
14.11 7:00	0	0	0	0
14.11 8:00	26,89	14,73	36,62	32,97
14.11 9:00	79,51	43,55	43,55	54,34
14.11 10:00	488,06	178,4	69,44	178,4
14.11 11:00	611,06	611,06	101,31	611,06
14.11 12:00	654,22	654,22	93,09	654,22
14.11 13:00	567,99	790,51	94,13	331,06
14.11 14:00	453,65	631,2	98,21	390,5
14.11 15:00	284,49	395,98	223,36	155,03
14.11 16:00	127,84	135,14	76,76	77,97
14.11 17:00	0	0	0	0
14.11 18:00	0	0	0	0
14.11 19:00	0	0	0	0
14.11 20:00	0	0	0	0
14.11 21:00	0	0	0	0
14.11 22:00	0	0	0	0
14.11 23:00	0	0	0	0